

**Г. М. ТРОМПЕТ**

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Г. М. Тромпет

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Допущено Уральским отделением Учебно-методического объединения вузов РФ  
по образованию в области строительства в качестве **учебного пособия**  
для студентов высших учебных заведений специальности 270101 «Механическое  
оборудование и технологические комплексы предприятий строительных материалов,  
изделий и конструкций» и направлению подготовки бакалавров  
270800.62 «Строительство», профиль «Механическое оборудование  
и технологические комплексы предприятий строительных  
материалов, изделий и конструкций»*

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2014



УДК 621:691.002.5(075.8)

ББК 34.7я+38.3-5я73

Т72

Рецензенты: проректор по информационной технологии и дистанционному обучению УрГАУ канд. техн. наук, проф. *В. А. Александров*;

чл.-кор. РАН, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат Государственной премии РФ, проф. *В. Ф. Балакирев* (Институт металлургии УрО РАН);

акад. АМОК, чл.-кор. МААО, чл. эксп. и техн. советов при Правительстве Свердловской области *В. В. Блюхер*

**Тромпет, Г. М.**

Т72 Технология производства оборудования предприятий строительных материалов : учебное пособие / Г. М. Тромпет. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 504 с.

ISBN 978-5-7996-1106-4

В общем курсе изложены теоретические основы технологии машиностроения, рассмотрены вопросы технологичности конструкций деталей и машин, точности механической обработки и качества обработанных поверхностей, проектирования приспособлений и построения технологических процессов, методы обработки типовых деталей машин, даны основные понятия о технологических процессах сборки машин.

В специальном курсе рассмотрены технологии механической обработки типовых деталей оборудования предприятий строительной индустрии.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности (направления) «Механическое оборудование и технологические комплексы предприятий строительных материалов, изделий и конструкций».

Табл. 24. Рис. 368.

УДК 621:691.002.5(075.8)

ББК 34.7я+38.3-5я73

ISBN 978-5-7996-1106-4

© Уральский федеральный  
университет, 2014

*Светлой памяти  
моего учителя и научного руководителя  
Владимира Владимировича Кувшинского  
посвящается*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Технология производства оборудования предприятий строительных материалов» изучает общие основы и методы технологии машиностроения. Понятие «Технология машиностроения» имеет широкое и узкое значения [1]. В широкое понятие «технология машиностроения» входят все методы получения заготовок (литье, штамповка, прокат, сварка и др.), механическая и термическая обработка деталей, сборка изделий. Узкое понятие «технология машиностроения» включает преимущественно вопросы механической обработки деталей и сборки машин.

В дисциплине «Технология машиностроения» обычно рассматриваются только вопросы технологии механической обработки деталей, выбора их заготовок и сборки изделий. Это объясняется тем, что на долю механической обработки деталей и сборки машин на машиностроительных заводах приходится максимальные затраты труда, а выполнение требований к точности и качеству поверхностей деталей возможно только путем их механической обработки.

Курс «Технология производства оборудования строительных материалов» рассчитан в основном на студентов специальности «Механическое оборудование, технологические комплексы, производство строительных материалов, изделий и конструкций». Он базируется на таких дисциплинах, как «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Метрология, стандартизация и сертификация», «Детали машин» и др. В курсе на базе знаний, полученных при изучении других технических дисциплин, приводится сравнительная характеристика различных технологических методов обработки на основных типах металлорежущих станков и современных многофункциональных комплексах в целях их рационального выбора при



проектировании технологических процессов с учетом конкретных условий производства. Комплексность предмета обусловлена тесной взаимосвязью разных технологических областей.

Технология машиностроения как научная дисциплина возникла в 20-х годах 20-го столетия в связи с развитием отечественного машиностроения. Однако истоки этой дисциплины относятся к XIX в. В 1804 г. академик В. М. Севергин (1765–1826) сформулировал основные положения о технологии. В 1817 г. профессор Московского университета И. А. Двигубский (1771–1839) опубликовал книгу «Научные основы технологии как краткое описание работ на заводах и фабриках производимых». Основоположник науки о резании металлов и технологии машиностроения профессор И. А. Тиме (1838–1920) является автором фундаментального трехтомного труда «Основы машиностроения. Организация машиностроительных фабрик в техническом и экономическом отношении и производство в них работ » (1885).

Значительный вклад в технологию машиностроения внесли отечественные ученые Б. С. Балакшин, Н. А. Бородачев, Ф. С. Демьянюк, М. Е. Егоров, А. И. Каширин, В. М. Кован, В. С. Корсаков, А. А. Маталин, С. П. Митрофанов, М. П. Новиков, А. П. Соколовский и другие, которые разработали теоретические основы курса, вопросы точности обработки деталей и сборки машин, типизации технологических процессов, поточного производства, групповой обработки деталей, систем автоматического проектирования технологических процессов.

Производству оборудования строительных материалов как отрасли общего машиностроения присущи некоторые характерные особенности. Это прежде всего большая номенклатура изделий [2; 7] (оборудование для производства железобетонных изделий и конструкций, керамических изделий, пресс-порошков, асбестоцементных изделий, силикатного кирпича, гипсовых изделий, строительной керамики, строительного стекла, теплоизоляционных материалов, цемента, извести, гипса и т. д.), что, естественно, определяет разнообразие габаритов и масс машин. Большинство конструкций работает в

тяжелых условиях вследствие значительных и неравномерных нагрузок, присутствия пыли и влаги. Это предопределяет высокие требования к совершенству конструкций и качеству изготовления этих машин.

Инженеры, связанные с эксплуатацией и ремонтом механического оборудования технологических комплексов по производству строительных материалов, изделий и конструкций, должны хорошо знать курс «Технология машиностроения, производство машин и оборудования». Общие принципы рациональной механической обработки деталей и сборки машин, излагаемые в данном курсе, используются при ремонте деталей машин. Инженер-технолог ремонтного производства в своей практической работе часто сталкивается с необходимостью изготовления запасных деталей, поскольку при ремонте более 50 % затрат приходится на запасные части.



# ОБЩИЙ КУРС

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. МАСШТАБ ПРОИЗВОДСТВА

### 1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Изделия и его элементы.** **Изделия** (готовая продукция) – конечный продукт машиностроительного производства. Под изделием подразумевается готовая машина, узел или даже деталь в зависимости от того, что является конечным продуктом данного производства. Например, для завода «Стройдормаш» изделием является печной агрегат сухого способа получения цемента, для механического завода – опорный блок вращающейся печи, а для литейного завода – опорный ролик. Сложное изделие можно расчленять на детали и узлы (сборочные единицы).

**Деталь** – неделимый первичный элемент изделия, характеризующийся отсутствием разъёмных или неразъёмных соединений. Деталь изготавливают из полуфабриката, называемого в технологии машиностроения заготовкой.

**Заготовка** – это предмет производства (полуфабрикат), из которого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности и свойств материала получают деталь или неразъёмную сборочную единицу.

**Узел (сборочная единица)** в зависимости от конструкции может состоять из отдельных деталей или узлов и деталей. Технологическая особенность сборочной единицы (узла) – возможность ее сборки независимо от других частей изделия. Иногда сборочные единицы не совпадают с функциональными (по назначению) частями изделия. Например, если смазочная система не может быть собрана отдельно от других элементов агрегата, то эта конструкция не будет относиться к его сборочным единицам.

### **Производственный состав машиностроительного завода**

Машиностроительные заводы состоят из цехов, отделов и служб. Структура завода в основном зависит от характера и объема выпускаемой продукции, степени кооперирования завода с другими предприятиями. По кооперации завод может получать заготовки (отливки, поковки, штамповки,

прокат), метизы, отдельные агрегаты и узлы машин, приборы, резиновые и текстильные изделия. Например, при получении отливок по кооперации в составе завода может отсутствовать литейный цех. Состав энергетических и санитарно-технических служб зависит от возможности получения со стороны электроэнергии, газа, пара, сжатого воздуха.

Ниже приведена примерная структура машиностроительного завода (конкретно она зависит от указанных выше факторов):

- обрабатывающие цехи (механические, термические, холодной штамповки, деревообрабатывающие, сборочные, окрасочные и др.);
- вспомогательные цехи (инструментальные, электроремонтные, ремонтно-механические и др.);
- склады (для металла, инструмента, формовочных и шихтовых материалов, готовых изделий, топлива и др.);
- энергетическая служба (электростанция, теплоэлектроцентраль, компрессорные и газогенераторные установки и др.);
- санитарно-техническая служба (отопление, вентиляция, водоснабжение, канализация и др.);
- транспортная служба;
- общезаводские отделы и службы (отдел главного технолога, отдел главного конструктора, центральная лаборатория, бухгалтерия, охрана, столовая и др.).

### **Производственный и технологический процессы и их этапы**

**Производственный процесс** машиностроительного завода представляет собой совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления выпускаемых изделий. Производственный процесс включает не только процессы, непосредственно связанные с изменением формы и свойств обрабатываемых деталей, сборкой узлов, изделий, но и все необходимые вспомогательные процессы, обеспечивающие выпуск готовой продукции (транспортировка деталей и заготовок, их хранение, ремонт станков, изготовление инструментов и др.).



**Производственный процесс** изготовления машины можно разделить на следующие этапы: изготовление заготовок деталей (отливка, ковка, штамповка, резка проката); обработка заготовок на металлорежущих станках и термообработка заготовок для получения готовых деталей; сборка сборочных единиц и сборка машины; регулирование и испытание машин; окраска и отделка машин (рис. 1.1) [3].

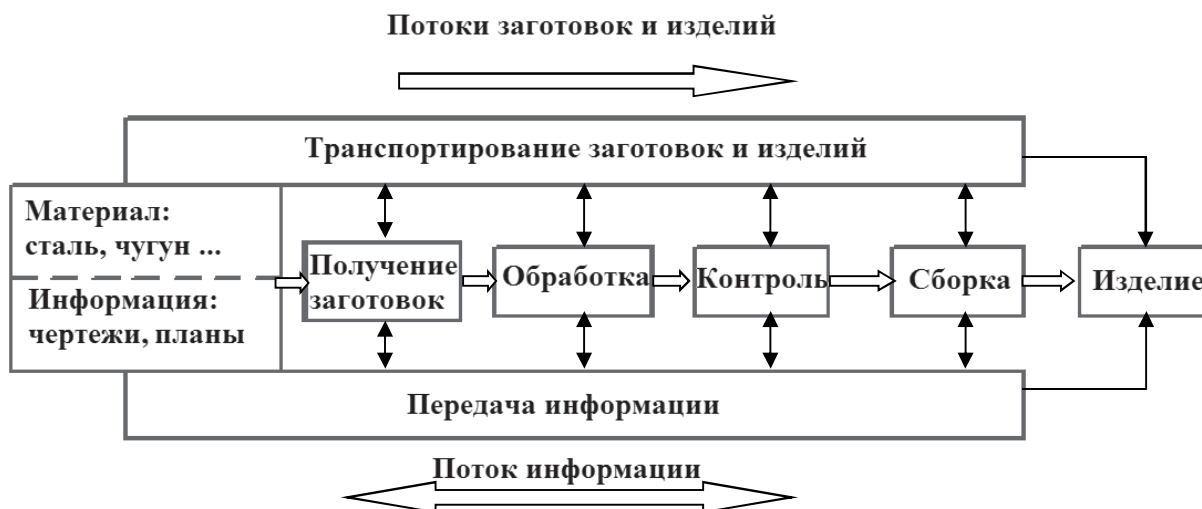


Рис. 1.1. Производственный процесс: потоки заготовок, изделий и информации

**Технологический процесс** – это часть производственного процесса, включающая действия по изменению и последующему определению состояния предмета труда (заготовок, деталей, машин). Изменения качественного состояния касаются изменения формы, размеров, шероховатости поверхности заготовок, деталей и их свойств.

**Технологический процесс обработки данной детали** – это часть производственного процесса, непосредственно связанная с изменением формы, размеров, шероховатости поверхности и свойств заготовки в целях получения готовой детали (рис. 1.2).

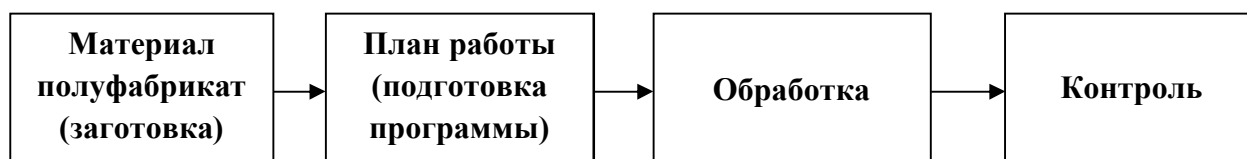


Рис. 1.2. Технологический процесс

В процессе механической обработки в основном изменяются формы, размеры и шероховатость поверхности заготовки для получения готовой детали. Термическая и химико-термическая обработка изменяют физические свойства заготовки (детали).

**Технологическая операция** – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте (на одном станке) (рис. 1.3).

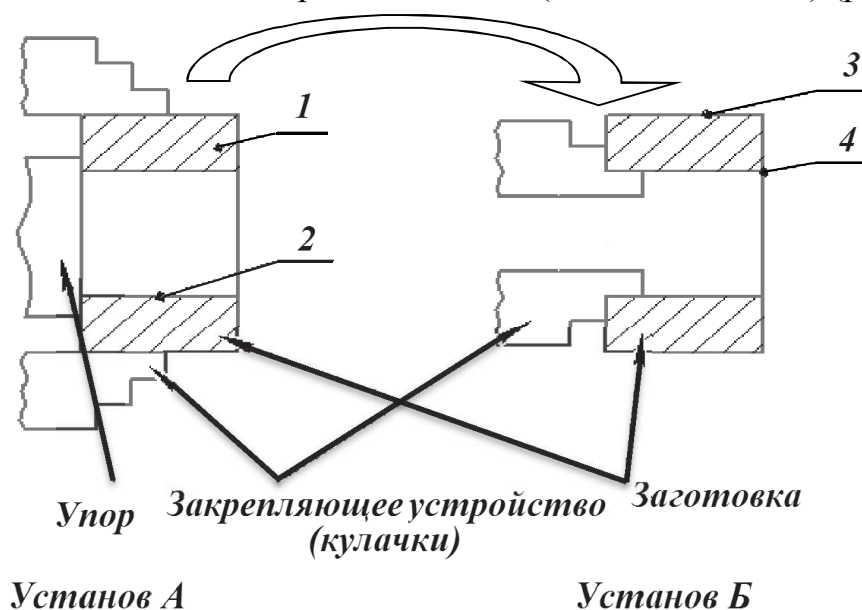


Рис. 1.3. Эскиз обработки втулки на одной операции при двух установках А и Б

Выполнять её может один или несколько рабочих. Операции являются основными элементами, на которые расчленяют технологический процесс при его проектировании, калькуляции затрат на изготовление и планирование. Название операций, связанных с механической обработкой, обычно дается по названию станка, на котором производят обработку (токарная, фрезерная, шлифовальная и т. д.). Операция, в свою очередь, расчленяется на более мелкие элементы технологического процесса по ГОСТ 3.1109–82.

**Технологический переход** применительно к механической обработке – законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством приспособлений, режима резания и установки (закрепления) заготовки. В большинстве случаев переход характеризуется также постоянством обрабатываемой поверхности. Для многоинструментальных станков одновременную обработку нескольких поверхностей детали



несколькими инструментами указывают в технологических картах как один технологический переход. В некоторых случаях за один технологический переход принимают также несколько одинаковых, следующих один за другим переходов, выполняемых в одной позиции (например, сверление нескольких одинаковых отверстий). В частном случае, если данная технологическая операция заключается в обработке одной поверхности, понятия технологического перехода и технологической операции совпадают.

**Вспомогательный переход** – законченная часть технологической операции, состоящая из действия человека и (или) оборудования, которое не сопровождается изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей, но необходимо для выполнения технологического перехода. Примерами вспомогательных переходов являются установка и снятие заготовки, смена инструмента и т. д.

**Установ** – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении одной или нескольких обрабатываемых заготовок. Например, при токарной обработке детали типа «втулка» (см. рис. 1.3) необходимо использовать два установка А и Б. При установке А технологическими переходами будут подрезка торца 1, расточка отверстия 2. При установке Б технологическими переходами будут подрезка второго торца 4 и обточка наружного диаметра 3.

**Рабочий ход** – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки. Раньше рабочий ход называли проходом.

Применительно к механической обработке существуют понятия «установ» и «позиция».

**Позиция** – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при

выполнении определенной части операции. На рис. 1.4 приведен пример четырехпозиционной обработки детали на трехшпиндельном вертикально-сверлильном станке.

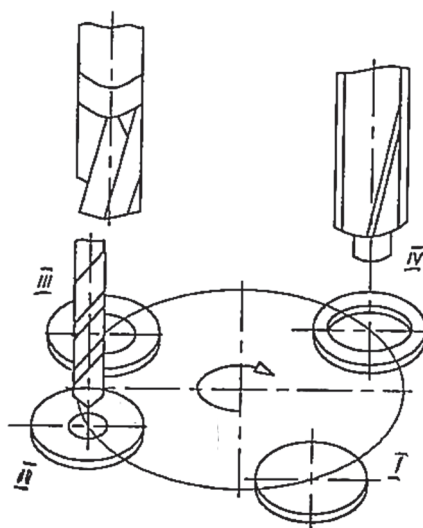


Рис. 1.4. Схема четырехпозиционной обработки заготовки на многошпиндельном вертикально-сверлильном станке

Позиция I служит для установки обрабатываемой заготовки и снятия готовой детали. После каждого рабочего хода (подачи) трехшпиндельной головки заготовка подается на новую позицию. На позиции II проводят сверление, на позиции III – зенкерование, на позиции IV – развертывание. Затем на позиции I полученную деталь заменяют заготовкой, и цикл обработки повторяется.

Кроме перечисленных элементов технологического процесса, существует ещё прием. Этим понятием пользуются при хронометраже работ и нормировании операций.

**Прием** – законченная совокупность действий рабочего при выполнении перехода или его части, объединенных одним целевым назначением. Например, при сверлении отверстия в детали на вертикально-сверлильном станке можно выделить следующие приемы: взять деталь и установить на столе или в приспособлении, закрепить деталь, включить станок, подвести сверло к детали, включить подачу, выключить подачу, отвести шпиндель в исходное положение, остановить станок, открепить деталь, взять деталь и положить на стеллаж (стол,

транспортёр). Рабочий прием может быть разделен на отдельные элементы. Например, при пуске станка можно выделить два элемента приема: включение пусковой кнопки электродвигателя и включение фрикциона станка.

Для осуществления практически любого технологического процесса (ТП) в машиностроительном производстве необходимо применение совокупности орудий производства, называемых **средствами технологического оснащения** (СТО). К средствам технологического оснащения относят технологическое оборудование и технологическую оснастку.

**Технологическое оборудование** – это СТО, в которых для выполнения определенной части ТП размещаются материалы или заготовки, а также средства воздействия на них. Примерами технологического оборудования являются литейные машины, прессы, металлорежущие станки, печи, гальванические ванны, испытательные стенды (рис. 1.5) и т. д.

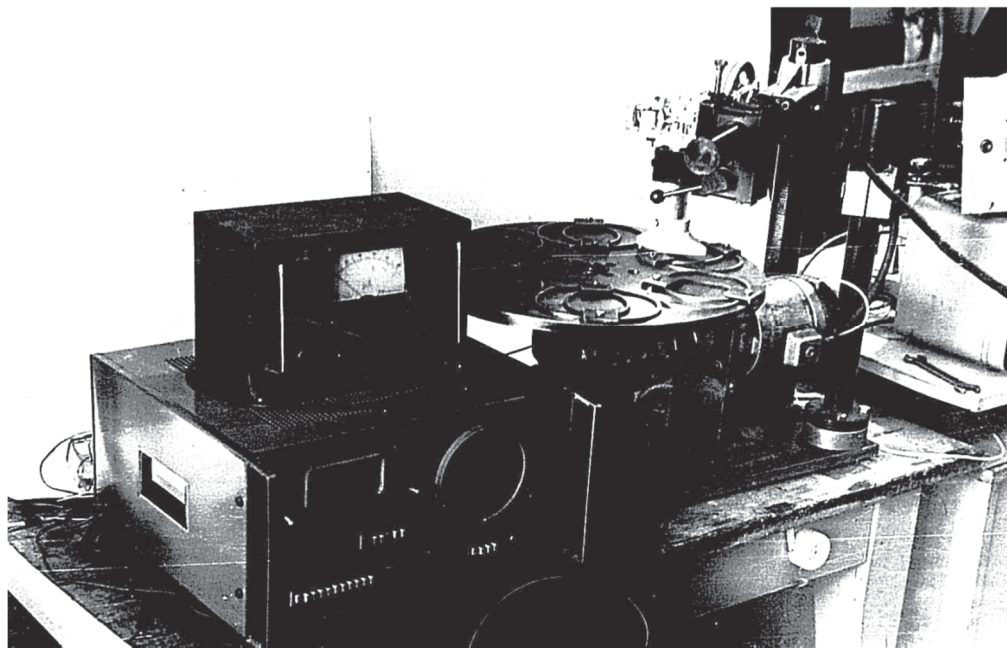


Рис. 1.5. Испытательный стенд системы управляющего контроля технологического процесса обработки различных заготовок (на рисунке – обработка и контроль поршневых колец)

**Технологическая оснастка** – это СТО, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определенной части ТП. Понятие технологической оснастки включает различные инструменты (режущие, измерительные, штамповые) и приспособления. **Приспособления** – часть

технологической оснастки, предназначенной для установки или направления предмета труда (заготовки) либо инструмента при выполнении технологической операции. Подготовка технологического оборудования и оснастки к выполнению определенной технологической операции называется **наладкой**. Дополнительную регулировку технологического оборудования и (или) оснастки в процессе работы для восстановления достигнутых при наладке значений параметров обработки называют **подналадкой**. Например, в процессе работы на токарных станках за полный период стойкости резцов производят одну-две подналадки резцов при выходе размеров обрабатываемых заготовок за пределы поля допуска.

Технологические процессы изготовления деталей и сборки узлов машин выполняют на рабочих местах. **Рабочее место** – участок производственной площади, где размещаются исполнители работы, обслуживаемое технологическое оборудование или часть конвейера, а на период работы – оснастка и предметы труда.

## 1.2. МАСШТАБ ПРОИЗВОДСТВА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Проектирование технологических процессов механической обработки деталей и сборки машин производят с учетом размера производственной программы, которая определяет масштаб производства. В зависимости от масштаба производства выбирают оборудование, приспособления, инструменты. Масштаб производства в значительной степени определяет характер технологических процессов. В зависимости от масштаба производства различают три основных типа производства: единичное, серийное и массовое.

**Единичное (индивидуальное) производство** характеризуется малым объемом выпуска одинаковых деталей, повторное изготовление которых, как правило, не предусматривается. К основным особенностям единичного производства относятся широкая и разнообразная номенклатура изготавливаемых изделий; отсутствие заранее обусловленной повторяемости операций на



рабочих местах; универсальность оборудования, приспособлений и инструмента; применение специальных приспособлений и инструмента только в исключительных случаях; универсальность измерительного инструмента (штангенциркули, микрометры, нутромеры, штихмасы, индикаторы), применяемого для контроля деталей; высокая квалификация рабочих.

Перечисленные особенности единичного производства определяют более высокую, чем при серийном и особенно при массовом производстве, себестоимость выпускаемых изделий.

Единичное производство существует в тяжелом машиностроении, судостроении, опытном производстве любых машин и т. п. Кроме того, единичное производство характерно для ремонтных цехов заводов, ремонтных мастерских сельхозпредприятий.

**Серийное производство** характеризуется тем, что изделия изготавливают сериями или партиями. Понятие «серия» обычно относят к количеству изделий (машин), а понятие «партия» – к количеству деталей, запускаемых в производство одновременно. В серийном производстве станки периодически переналаживают с одной операции на другую. В зависимости от размера партии серийное производство разделяют на крупносерийное, малосерийное и смешанное. При серийном производстве смешанного типа одни детали изготавливают крупными сериями, другие – средними и даже мелкими. В таких случаях характер производства определяется той разновидностью, которая является преобладающей.

К особенностям серийного производства относятся периодическая смена операций на рабочих местах, большая, чем при единичном производстве, специализация оборудования, приспособлений, инструментов. При серийном производстве применяют в основном станки с программным управлением, современные многоцелевые и многофункциональные станки. Серийное производство – наиболее характерный тип во всем машиностроении. К этому

типу относят производство оборудования строительных материалов, станкостроение, производство насосов, компрессоров, текстильных машин.

**Массовым производством** называется такое производство, при котором изделия изготавливают путем выполнения на рабочих местах одних и тех же постоянно повторяющихся операций.

Массовому производству свойственны установившийся объем и характер работы на рабочих местах; расположение рабочих мест в порядке выполнения операций, т. е. поточность производства; отсутствие межоперационных складов; применение специальных высокопроизводительных станков, приспособлений и инструментов; высокая, вплоть до полной, взаимозаменяемость деталей, устранение ручных пригоночных работ при сборке. При массовом производстве используется понятие «такт производства» – это интервал времени между выпуском двух следующих одна за другой деталей:

$$\tau = \frac{\Phi_{\text{д}} \cdot 60}{\Pi_{\text{д}}},$$

где  $\Phi_{\text{д}}$  – фонд рабочего времени, час;  $\Pi_{\text{д}}$  – производственное здание, ед.

Производство относят к определенному типу по коэффициенту закрепления операций:

$$K_{з.о} = \frac{O}{P},$$

где  $O$  – число всех технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца;  $P$  – число рабочих мест.

В некоторых случаях данные о зачисленных значениях  $O$  и  $P$  (например, при разработке курсовых проектов, работ) отсутствуют. Тогда вместо коэффициента закрепления операций определяют коэффициент серийности:

$$K_{\text{с}} = \frac{\Phi_{\text{д}} \cdot 60}{T_{\text{ш.ср}} \Pi_{\text{д}}},$$

где  $\Phi_D$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч;  
 $T_{ш.ср}$  – среднее значение штучного времени всех операций по обработке одной детали, мин;  $П_D$  – годовая программа выпуска деталей.

$$T_{ш.ср} = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_n}{n},$$

где  $T_1, T_2, \dots, T_n$  – значение штучного времени на 1, 2, ...,  $n$  операции;  
 $n$  – число операций.

Значение коэффициента серийности для различных типов производства: массовое  $K_c = 1$ ; крупносерийное  $1 < K_c \leq 10$ ; среднесерийное  $10 < K_c \leq 20$ ; малосерийное  $20 < K_c \leq 40$ ; единичное  $K_c > 40$ . Пример практического определения типа производства приведен в [4].

#### **Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП)**

– комплекс работ, позволяющих приступить к изготовлению нового изделия в заданных объемах производства и заданного качества, определенных государственными или отраслевыми стандартами.

ЕСТПП включает следующие комплексы работ: по обеспечению технологичности конструкции изделия; разработке технологических процессов; проектированию и изготовлению средств технологической оснастки (приспособлений и инструментов); организации и управлению процессом ТПП.

Комплекс организации и управления процессом ТПП включает планирование развития ТПП и совершенствование структуры служб ТПП.

Важность работ по ТПП видна из того факта, что при массовом и крупносерийном производстве трудоемкость проектирования технологических процессов и оснастки превосходит по трудоемкости конструирование машин в 2...5 раз.

В систему ЕСТПП органически входит Единая система технологической документации (ЕСТД). Это система государственных стандартов, определяющих порядок разработки, оформления и обращения технологической документации (более подробно см. п. 8.5).

## **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое изделие и его элементы?
2. Чем характеризуются деталь и узел?
3. Что такое сборочная единица?
4. Примерная структура машиностроительного завода.
5. Что такое производственный и технологический процессы?
6. Что такое технологическая операция, переходы, установ, прием, наладка и подналадка, рабочее место?
7. Какие существуют типы производств в зависимости от масштаба производства?
8. Что такое такт производства, его размерность, как его определяют?
9. Что такое Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП)?

## 2. ВЫБОР ЗАГотовОК. ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ

### 2.1. ВЫБОР ЗАГотовОК

При проектировании процесса изготовления детали важную роль играет выбор заготовки. От выбора заготовки, т. е. установления метода её получения, формы, величины припусков и напусков, зависит масса заготовки и объем последующей механической обработки детали. Увеличение припусков на обработку ведет к возрастанию расхода металла и трудоемкости обработки, повышает затраты на режущий инструмент, ремонт станков, электроэнергию. Вместе с тем слишком малые припуски на обработку могут привести к браку «по черноте», т. е. к невыдерживанию требований чертежа детали по точности и шероховатости обработанных поверхностей. Таким образом, от правильности выбора вида и размеров заготовки зависит себестоимость изготовления детали.

Основные виды заготовок для деталей машин: отливки; поковки; штампованные заготовки; сортовой материал; сварные заготовки; заготовки из пластмасс и других неметаллических материалов; заготовки из металлокерамики.

Важная задача при изготовлении заготовок – приближение их по форме и размерам к готовым деталям. Выбор заготовки зависит от материала, размеров и формы детали, условий её работы, а также масштаба производства. В некоторых случаях, когда можно использовать различные виды заготовок (например, поковки, штамповки или сортовой металл), наивыгоднейшее решение получают путем сопоставления себестоимости конкурирующих вариантов.

**Отливки** служат заготовками для фасонных деталей. Из чугуна отливают картеры, коробки, корпуса подшипников, кронштейны, маховики, шкивы, фланцы и т. п. При более высоких требованиях к механическим свойствам деталей аналогичные отливки выполняют из стали.

Основные способы получения отливок: отливка в песчано-глинистые формы, отливка в оболочковые формы, отливка в металлические формы

(кокили), литье под давлением, центробежное литье, литье по выплавляемым моделям.

Отливка в песчано-глинистые формы по деревянным моделям с ручной формовкой – наиболее простой и универсальный метод. К его недостаткам относятся невысокая точность отливок, плохое качество поверхности, низкая производительность, большие отходы. Применение металлических моделей и машинной формовки увеличивает точность отливок.

Допуски на чугунные и стальные заготовки, отливаемые в песчаные формы, регламентируются ГОСТ 26645–85 «Отливки из металлов и сплавов». Согласно ГОСТу отливки разделяются на 22 класса точности (1...16 и 6 цифр с буквой «Т») размеров и масс и 6 классов (1...6) рядов припусков.

Эти ряды классов точности и припусков охватывают основные способы литья: под давлением в механические формы, в керамические формы и по выплавляемым моделям, в кокиль, центробежное, в сырые и сухие песчано-глинистые формы.

Литье в песчаные формы – наиболее универсальный способ в отношении литейных металлов, а также масс и габаритов отливок. Другие способы литья (литье небольших деталей из цветных сплавов под давлением в металлические формы, литье по выплавляемым моделям) значительно удорожают стоимость отливок, хотя позволяют получать отливки с минимальными припусками на механическую обработку.

Для отливок из чугуна в песчано-глинистые формы с наибольшим габаритным размером 400...630 мм рекомендуется применять класс точности размеров и масс 7Т-12, что соответствует предельным отклонениям на размер отливки в пределах  $\pm 0,7 \dots \pm 4,5$  мм соответственно.

Припуски на механическую обработку отливок из цветных металлов, серого и ковкого чугуна, углеродистой стали регламентируются также ГОСТ 26645–85.

Отверстия в отливках выполняют при диаметре более 20 мм при массовом, 30 мм при серийном и 50 мм при единичном производстве.

Отливка в оболочковые формы – метод получения точных и качественных мелких и средних отливок (до 150 кг) из чугуна и стали. Точность отливки – до 0,2 мм на 100 мм длины. Отливки в оболочковые формы в некоторых случаях заменяют поковки для таких ответственных деталей, как, например, коленчатые валы автомобилей. Этот способ целесообразно применять в серийном и массовом производстве.

Отливка в металлические формы (кокили) обеспечивает получение отливок массой до 7 т со сравнительно высокой точностью и большой производительностью. Допускаемые отклонения по размерам заготовок из чугуна, отлитых в металлические формы, для номинальных размеров 63...100 мм бывают в пределах  $\pm 0,22 \dots \pm 1,4$  мм, а припуск на сторону равен 0,8...2,8 мм (в зависимости от класса точности размеров отливок).

Литье под давлением применяют для получения мелких отливок из цветных сплавов при крупномасштабном производстве. Отливки выполняют с точностью 9...11-го классов точности.

Центробежное литье применяют в основном для получения заготовок, имеющих форму тел вращения (труб, цилиндров, стаканов, колец), путем заливки металла во вращающиеся металлические формы. Отливки получаются качественные, с плотной структурой.

Отливку по выплавляемым моделям применяют для получения мелких отливок сложной конфигурации. Она обеспечивает высокую точность и высокий класс шероховатости поверхности (4...6-й классы). Поверхности отлитых деталей либо совсем не обрабатывают, либо только шлифуют.

**Поковки и штампованные заготовки** – основной вид заготовок для изготовления ответственных деталей из стали и некоторых цветных сплавов, так как они обладают повышенными механическими свойствами по сравнению с отливками. Получение заготовки методомковки применяют в основном в условиях индивидуального или мелкосерийного производства, когда экономически нецелесообразно изготавливать дорогие штампы. Заготовки ответственных крупных деталей также изготавливают методомковки.



Припуски и допуски на поковки, произведенные на молотах, регламентируются ГОСТ 7829–70.

В условиях серийного и массового производства мелкие и средние стальные заготовки получают методом штамповки. Достоинство этого метода – значительная производительность, а также резкое уменьшение величины припусков по сравнению со свободной ковкой. Припуски и допуски на штампованные заготовки регламентируются ГОСТ 7505–89. Шероховатость поверхности штамповок – 1...3-й классы. Если после штамповки произвести чеканку, то можно выдержать точность отдельных размеров 0,02...0,05 мм.

**Прокат** используют непосредственно в качестве заготовок разных деталей. Для механической обработки применяют прокат следующих видов: прутки горячекатаные (круглого, квадратного, шестигранного сечений), прутки холодноотянутые (калиброванные), полосовой и профильный горячекатаный материал, трубы, проволока, листы. Прутковые заготовки часто используют для изготовления деталей на револьверных станках и автоматах. При цанговом зажиме прутков и труб применяют холодноотянутые прутки из-за их большей точности по диаметру или горячекатаный прокат, который предварительно подвергают обточке по наружному диаметру на специальных станках. Круглый прокат обычной точности выпускают диаметром 5...250 мм, повышенной точности – 5...150 мм, калиброванный – 3...100 мм, калиброванный повышенной точности с улучшенной отделкой поверхности – 0,2...30 мм.

**Штампосварные заготовки** представляют собой изделия, полученные в результате сварки штампованных, литых или прокатанных заготовок.

Во всех случаях штампосварные конструкции или конструкции сварные из проката являются наиболее целесообразными и экономичными. Удельный вес сварных конструкций в некоторых изделиях механического оборудования предприятий строительных материалов (листоформовочная машина асбестоцементных изделий, автомат-садчик СМК-284, разработанный ВНИИстроймашем и ЦКБ «Строймашина» Харьковского объединения

«Красный Октябрь») составляет 50...60 % от общей массы машины. Сварку применяют при изготовлении рам, ферм, эстакад и т. д.

При изготовлении многих изделий для производства железобетонных конструкций и оборудования широко применяют сварку.

**Заготовки из пластмасс и других неметаллических материалов** находят все более широкое применение в оборудовании предприятий строительных материалов благодаря ряду преимуществ, присущих пластмассам. Для пластмасс характерна малая плотность, многие разновидности их обладают высокой коррозионной стойкостью и удовлетворительной прочностью, технология изготовления деталей из пластмасс несложна, и заготовки из них почти не требуют последующей механической обработки. Главной составной частью пластмасс (30...60 %) являются высокомолекулярные органические вещества – искусственные (синтетические) или – реже – природные смолы, которые служат связующим веществом. В состав пластмасс обычно входят 40...70 % наполнителя, 1...2 % связующего вещества, 1...1,5 % красителя и другие добавки. По свойствам пластмассы разделяются на термореактивные (термонеобратимые) и термопластичные (термообратимые).

**Термореактивные** пластмассы при нагревании размягчаются, плавятся и в результате полимеризации переходят в твердое состояние. После отвердевания они становятся непригодными для дальнейшей перепрессовки. К термореактивным пластмассам относятся фенопласты и аминопласты.

**Термопластичные** пластмассы при нагревании размягчаются или плавятся. В этом состоянии они заполняют (под давлением или без него) форму. Из-за отсутствия процесса полимеризации эти пластмассы не переходят в неплавкое состояние и могут быть вновь подвергнуты технологической обработке (прессованию, литью) при соответствующем нагреве. К термопластичным пластмассам относятся целлулоид, полистирол, полихлорвинил.

Заготовки из пластмасс могут быть получены литьем без давления, литьем под давлением, формованием на вальцах, формованием в пресс-формах, вакуум-формованием и формованием сжатым воздухом, экструзией (формование выдавливанием), сваркой.

Кроме пластмасс в машиностроении применяют резину (уплотнительные кольца, прокладки, манжеты, приводные ремни, транспортерные ленты, рукава, шланги, шины), текстильные материалы (ткани, ремни, тесьму, шнуры, войлок), асбестовые материалы (шнуры и нити, лист), кожу, картон, бумагу.

**Заготовки из металлокерамики** применяют для изготовления деталей, которые не могут быть получены другими способами: из тугоплавких элементов (вольфрама, молибдена, магнитных материалов), из материалов, состоящих из смеси металлов с неметаллами (медь-графит), и пористых материалов.

Металлокерамические заготовки получают из тонких порошков различных металлов или из их смесей с неметаллами (графит, кремнезём, асбест) путем прессования в пресс-формах под давлением 100...600 МПа с последующим спеканием при температуре несколько ниже температуры плавления основного компонента. Этот способ получения заготовок называют порошковой металлургией, с его помощью изготавливают подшипники скольжения (с антифрикционными свойствами), тормозные диски (с фрикционными свойствами), самосмазывающиеся пористые втулки (поры которых на 20...30 % затем заполняют жидкой смазкой), магниты – детали для радиотехнической промышленности. Детали из металлокерамики исключают необходимость последующей механической обработки, что является их преимуществом.

Перед механической обработкой отливки проходят обрезку (удаление литников, выпоров, прибылей), зачистку после обрезки (обрубки) и очистку поверхности. Литниковую систему удаляют пневматическими и ручными зубилами, циркулярными пилами, абразивными кругами. Зачистку после обрезки (обрубки) производят абразивными кругами или вручную

напильниками. Очищают поверхности отливок от пригоревшего формовочного материала вращающимися проволочными щетками, во вращающихся барабанах, дробеструйными аппаратами, абразивными кругами с гибким валом.

Во вращающемся барабане (с частотой вращения 30...50 мин<sup>-1</sup>) производят очистку мелких и средних отливок, которые загружают в него вместе со звездочками. Звездочки – это отливки из белого чугуна высокой твердости размером 25...60 мм в поперечнике, имеющие объемную форму пятиконечных звезд. В барабане отливки очищаются от остатков формовочной смеси, ударяясь друг с другом и звездочками. Продолжительность очистки – от 30 мин до 1,5 ч.

Если на деталях из серого чугуна образовалась твердая белая корка (отбеливание) вследствие слишком быстрого охлаждения, то применяют отжиг отливок для уменьшения их твердости и улучшения обрабатываемости резанием.

Мелкие и средние поковки и штамповки подвергают очистке от окалины, обладающей значительными абразивными свойствами, во вращающихся барабанах, иногда при наличии у штамповок особо твердой корки – травлению в подогретых растворах кислот.

Применение неочищенных заготовок снижает производительность механической обработки из-за резкого уменьшения стойкости режущего инструмента. Скорость резания при наличии твердой «корки» (литейной, окалины) приходится снижать в 1,5...2 раза для сохранения стойкости режущего инструмента.

Подготовку заготовок для механической обработки осуществляют в заготовительных цехах.

## 2.2. ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ

**Припуск на обработку** – слой материала, удаляемый с поверхности заготовки при механической обработке в целях достижения заданных свойств обрабатываемой детали (ГОСТ 3.1109–82). Цель – обеспечить заданные

чертежом и техническими условиями (ТУ) формы и размеры обрабатываемой поверхности. Припуски бывают следующими: промежуточный (межоперационный), операционный, общий.

**Промежуточный припуск** (межоперационный) – припуск, удаляемый при выполнении одного технологического перехода.

**Операционный припуск** – припуск, удаляемый при выполнении одной технологической операции.

**Общий припуск** – припуск, удаляемый при выполнении одной технологической операции.

Особой разновидностью припусков на обработку являются напуски. **Напуск** – слой (объем) материала, удаляемый при образовании отверстий, пазов, углублений в сплошном материале. На рис. 2.1 приведены примеры расположения напусков для деталей типа втулки и вилки.

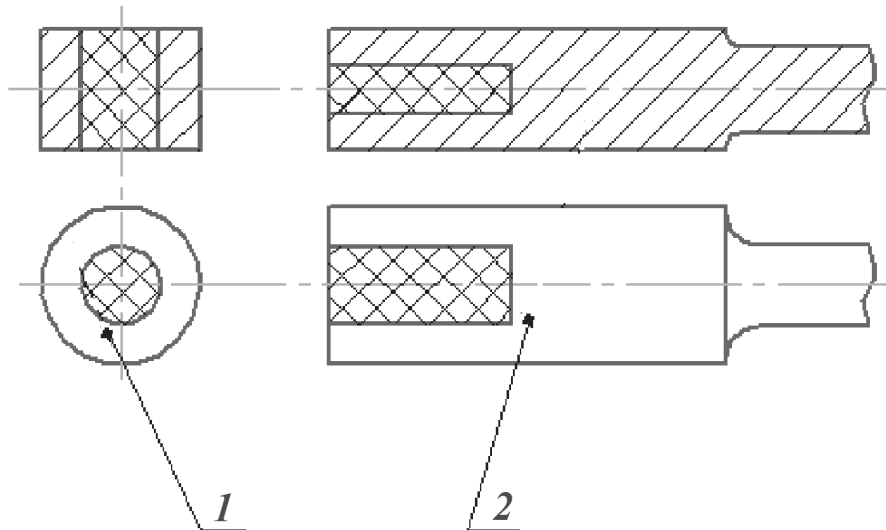


Рис. 2.1. Схема расположения напусков для деталей типа втулки (1) и вилки (2)

Припуски различают асимметричные – на одну сторону (плоская деталь) и симметричные – на две стороны (например, для тел вращения припуски часто дают на диаметр, т. е. на две стороны) (рис. 2.2).

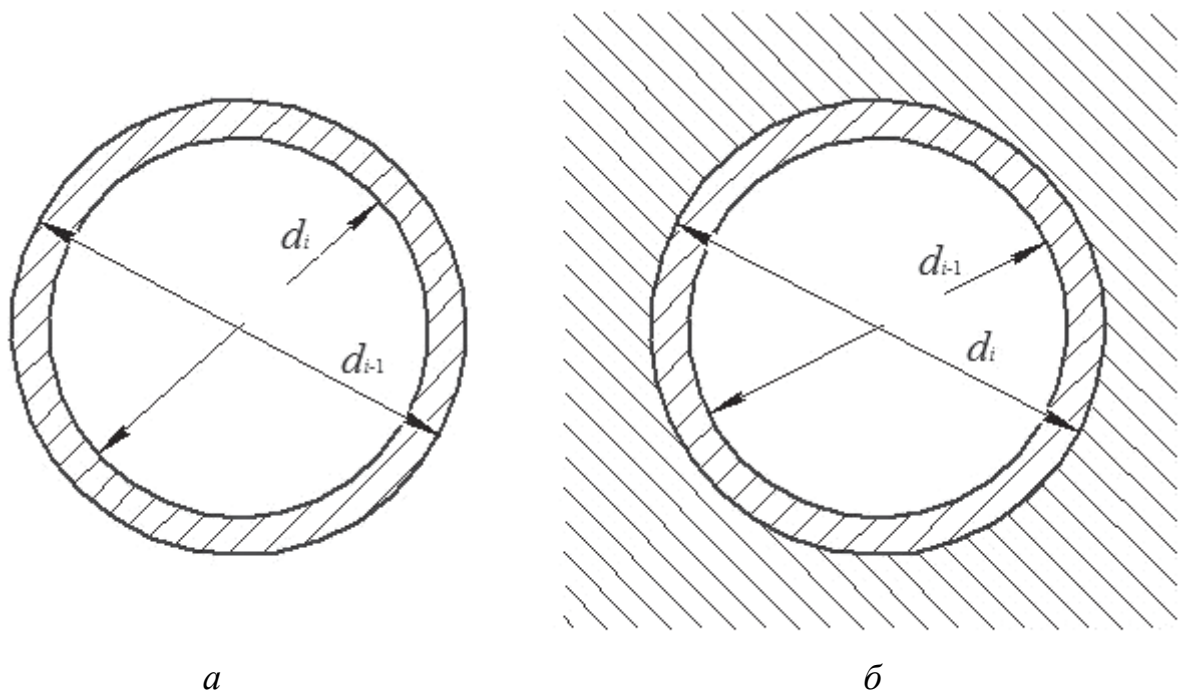


Рис. 2.2. Схема расположения припусков для наружной (а) и внутренней (б) поверхностей

Припуск на наружную поверхность (рис. 2.2, а) рассчитывается по формуле

$$Z_i = d_{i-1} - d_i,$$

а на внутреннюю поверхность (рис. 2.2, б) – по формуле

$$Z_i = D_i - D_{i-1},$$

где индексы  $i$  – для выполняемого перехода;  $i-1$  – для предшествующего перехода.

Общий припуск равен сумме промежуточных припусков по всему технологическому маршруту механической обработки данной поверхности:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n ,$$

где  $n$  – количество промежуточных припусков.

Общий припуск можно определить и как разность размеров заготовки ( $d_3$ ) и готовой детали ( $d_d$ ):

$$Z_0 = d_3 - d_d.$$

На все припуски устанавливают допуски, которые являются разностью между наибольшим и наименьшим значениями припуска.

Установление оптимальных припусков играет важную роль при разработке технологических процессов изготовления деталей и имеет большое технико-экономическое значение. Увеличение припусков снижает экономическую эффективность процесса за счет потерь металла, переводимого в стружку. Удаление лишних слоев металла требует введения дополнительных технологических переходов, увеличивает трудоемкость процессов обработки, расход энергии и режущего инструмента, повышает себестоимость обработки. При увеличенных припусках в некоторых случаях удаляют наиболее износостойкий поверхностный слой обрабатываемой детали (например, налёт). Уменьшение припусков не обеспечивает удаление дефектных поверхностных слоёв и получение требуемой точности и шероховатости обработанных поверхностей, а в некоторых случаях создает неприемлемые условия для работы режущего инструмента по литейной корке или окалине. Чрезмерно малые припуски требуют повышения точности заготовок, затрудняют их разметку и выверку на станках и в конечном счете увеличивают вероятный процент брака.

Правильно выбранный припуск обеспечивает:

- устойчивую работу оборудования при достижении высокого качества продукции;
- минимальную себестоимость продукции.

В машиностроении применяют два метода определения припуска:

- опытно-статистический (табличный);
- расчетно-аналитический (метод Кована).



При использовании опытно-статистического метода припуски назначаются по таблицам, которые составлены на основе обобщения и систематизации производственных данных передовых заводов. Недостатком этого метода является назначение припусков без учета конкретных условий построения технологических процессов. В этом случае создаются ненужные повышенные запасы надежности в предположении наихудших условий для каждой из обрабатываемых поверхностей, поэтому табличные припуски завышены. Однако этот метод широко используется на промышленных предприятиях из-за простоты практического применения.

Расчетно-аналитический метод определения припусков разработан профессором В. М. Кованом. Согласно этому методу промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии можно было устранить погрешность обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих технологических переходах, а также погрешности установки обрабатываемой заготовки, возникающие на выполняемом переходе.

В соответствии с этим методом минимальный промежуточный припуск  $Z_{\min}$  рассчитывается по нижеследующим формулам (рис. 2.3).

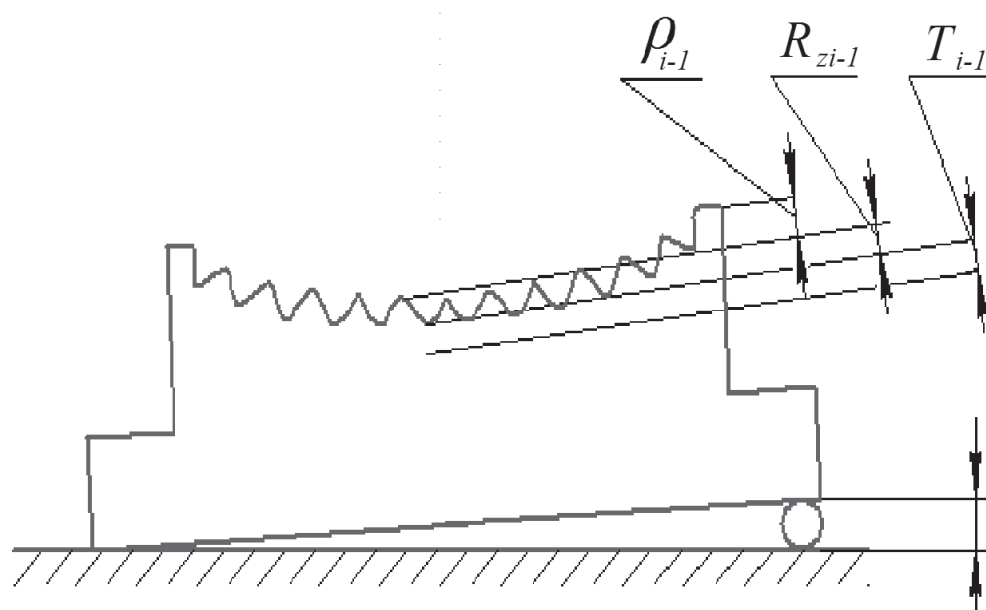


Рис. 2.3. Схема для определения минимального операционного припуска

1. Для несимметричной (односторонней) обработки

$$Z_{\min} = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + (\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i),$$

где  $R_{Z_{i-1}}$  – высота неровностей, полученная на смежном предшествующем переходе обработки данной поверхности;  $T_{i-1}$  – глубина поверхностного слоя, отличного от основного, полученного на предшествующем технологическом переходе;  $\bar{\rho}_{i-1}$  – пространственные отклонения расположения обрабатываемой поверхности относительно баз заготовки;  $\bar{\varepsilon}_i$  – погрешность установки, возникающая на выполняемом переходе.

Рассмотрим влияние особенностей технологического процесса и служебного назначения детали на назначение перечисленных параметров. Например, у отливок из серого чугуна поверхностный слой состоит из перлитной корки (механическая смесь феррита и цементита), наружная зона которого нередко имеет следы формовочного песка. Этот слой должен быть полностью удален на первом переходе для последующей нормальной работы инструмента.

Распределительные валы автомобильных двигателей (и другие детали) отливают с отбелённым (меньше углерода в виде графита и больше в связанном состоянии в виде цементита  $\text{Fe}_3\text{C}$ ) поверхностным слоем. При дальнейшей обработке этот слой желательно сохранить для повышения износостойкости деталей.

У остальных поковок и штампованных заготовок поверхностный слой характеризуется обезуглероженной зоной, поэтому он должен быть полностью удален, т. к. снижает предел выносливости детали.

И наконец, после поверхностной закалки поверхностный слой детали желательно сохранить в максимальной степени.

Влияние пространственных отклонений  $\bar{\rho}_{i-1}$  на массу металла, снятую в виде припуска, зависит от принятой схемы базирования заготовки. При механической обработке заготовок типа дисков целесообразно, например, сначала расточить отверстие, используя в качестве базы наружную цилиндрическую поверхность, а затем, базируясь на отверстии, обточить нужную поверхность. При обратной последовательности обработки с наружной (доминирующей для этой заготовки) поверхности снимается значительно больше (по объему) металла. Примерами пространственных отклонений могут служить следующие погрешности взаимного расположения: несоосность растачиваемого отверстия заготовок втулок, дисков, гильз относительно наружной (базовой) поверхности; несоосность обрабатываемых ступеней базовым шейкам или линии центровых гнезд заготовок ступенчатых валов; неперпендикулярность торцевой поверхности оси базовой цилиндрической поверхности заготовки; непараллельность обрабатываемой и базовой поверхностей заготовок корпусных деталей.

Вследствие наличия погрешности установки  $\bar{\varepsilon}_i$  обрабатываемая поверхность занимает различное положение при обработке партии заготовок на предварительно настроенном станке. Нестабильность положения обрабатываемой поверхности должна быть компенсирована дополнительной составляющей промежуточного припуска  $\bar{\varepsilon}_i$ , включающей погрешности базирования, закрепления и положения.

При односторонней обработке (как указано на рис. 2.3) векторы  $\rho_{i-1}$  и  $\varepsilon_i$  коллинеарны (параллельны), следовательно, при несимметричной обработке плоскостей формула для расчета припуска имеет вид

$$Z_{i\min} = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i.$$

2. Для симметричной обработки наружных и внутренних поверхностей тел вращения векторы  $\rho_{i-1}$  и  $\varepsilon_i$  могут принимать любое направление (любое

угловое положение), предвидеть которое заранее не представляется возможным. Поэтому их сумма определяется как

$$(\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i) = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}.$$

Следовательно, для тел вращения формула принимает вид

$$2Z_{i\min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}).$$

Из общей формулы расчета могут быть получены частные формулы для конкретных случаев обработки:

1) при обтачивании цилиндрической поверхности заготовки, установленной в центрах, погрешность  $\varepsilon_i$  может быть принята равной нулю:

$$2Z_{i\min} = 2[(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1}) + \rho_{i-1}];$$

2) при шлифовании заготовок после термообработки поверхностный слой необходимо по возможности сохранить, следовательно, слагаемые  $T_{i-1}$  нужно исключить из расчетной формулы:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{Z_{i-1}} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2});$$

3) при развертывании плавающей развертки и протягивании отверстий смещения и увод оси не устраняются, а погрешности установки  $\varepsilon_i$  в этом случае нет:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1});$$

4) при суперфинишировании и полировании цилиндрической поверхности, когда уменьшается лишь шероховатость поверхности, припуск определяется высотой микронеровностей обрабатываемой поверхности  $R_{Z_{i-1}}$ :

$$2Z_{i\min} = 2R_{Z_{i-1}}.$$

Схемы образования промежуточных размеров при обработке внутренних и наружных цилиндрических поверхностей показаны на рис. 2.4 и рис. 2.5.

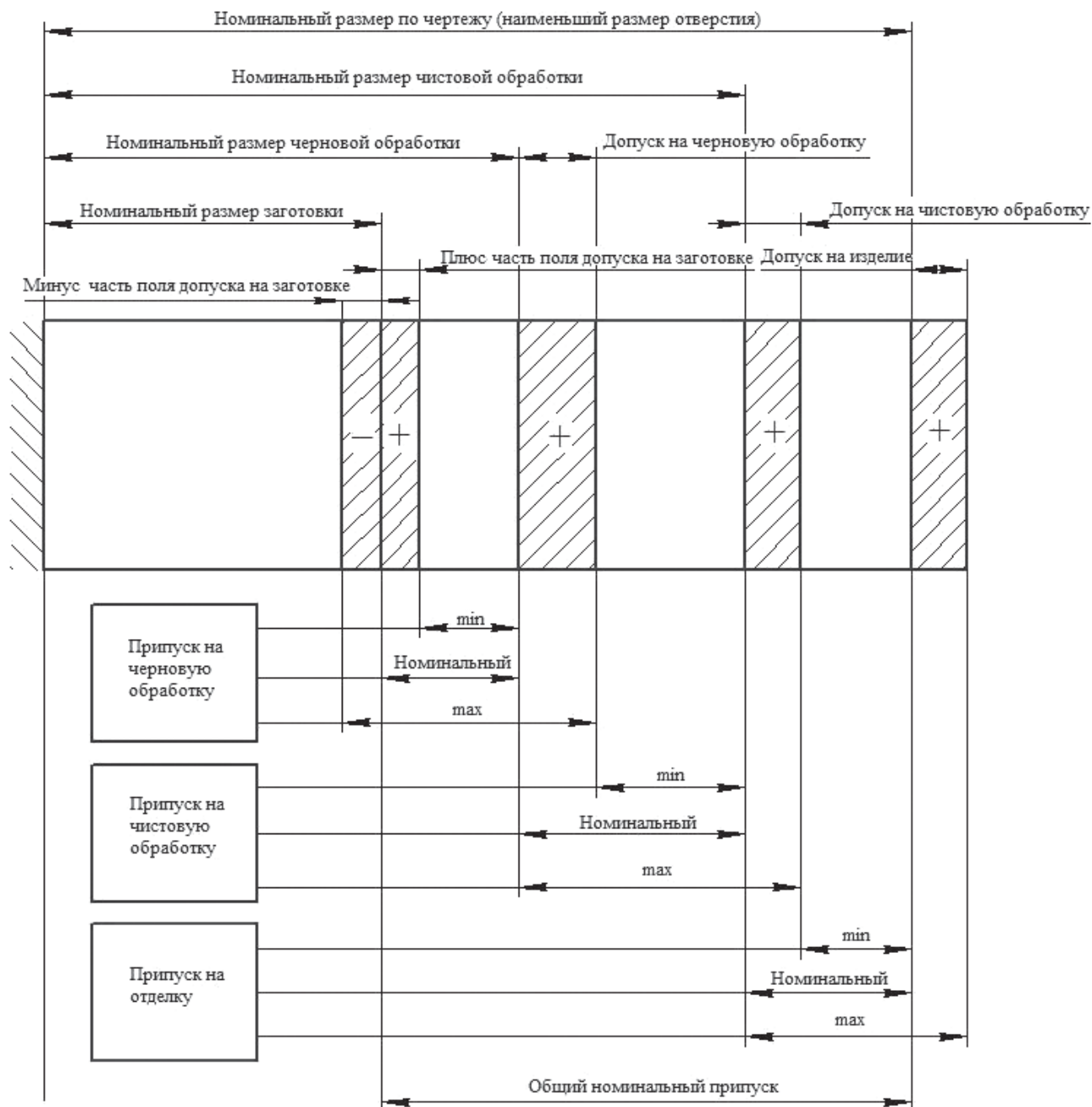


Рис. 2.4. Схема расположения операционных припусков и допусков на различных стадиях обработки для внутренних поверхностей (отверстий)

При расчете припусков по табличным данным необходимо обращать внимание на графу в таблице «расчетная длина заготовки», которая зависит от характера крепления детали в процессе обработки (табл. 2.1) и рис. 2.6.

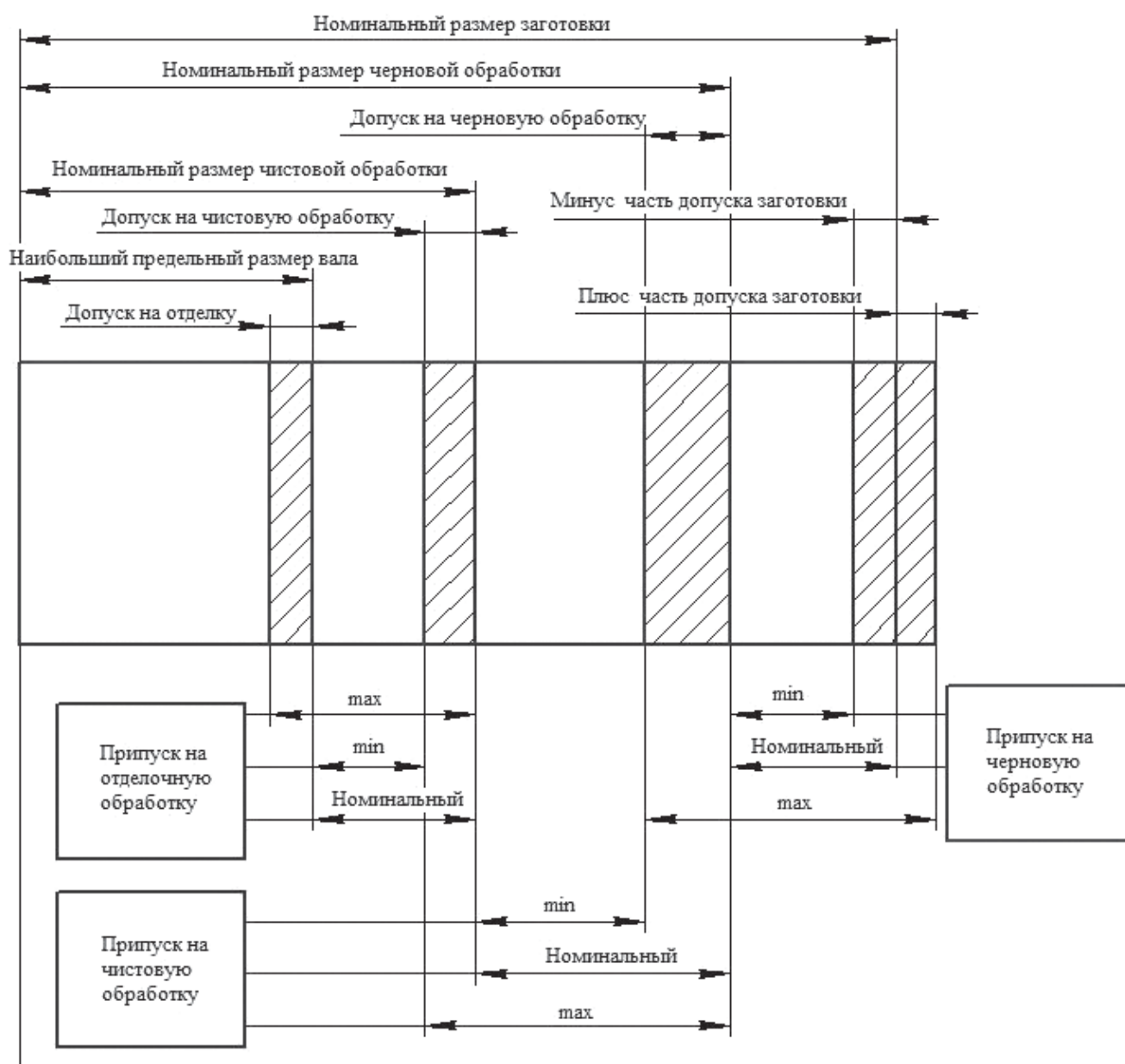


Рис. 2.5. Схема расположения операционных припусков и допусков на различных стадиях обработки для наружных поверхностей (валов)

### Примечание

Расчетная длина для вала, показанного на рис. 2.6, а, принимается равной 400 мм, а для вала на рис. 2.6, б – 80 мм.

Таблица 2.1

Расчетная длина заготовки при определении номинальных  
операционных припусков

Характер установки заготовок при обработке	Обрабатываемые валы		
	Гладкие	Ступенчатые	
		для средних участков вала	для крайних участков вала
В центрах или патроне с поддержкой задним центром (рис. 2.6, а)	Полная длина вала	Полная длина вала	Длина, равная удвоенному расстоянию от торца вала до наиболее удаленного конца обработанного участка
В патроне без поддержки задним центром (рис. 2.6, б)	Удвоенная длина вала выступающей из патрона части заготовки	Длина, равная удвоенному расстоянию от наиболее удаленного торца обработанного участка до кулачков патронов	

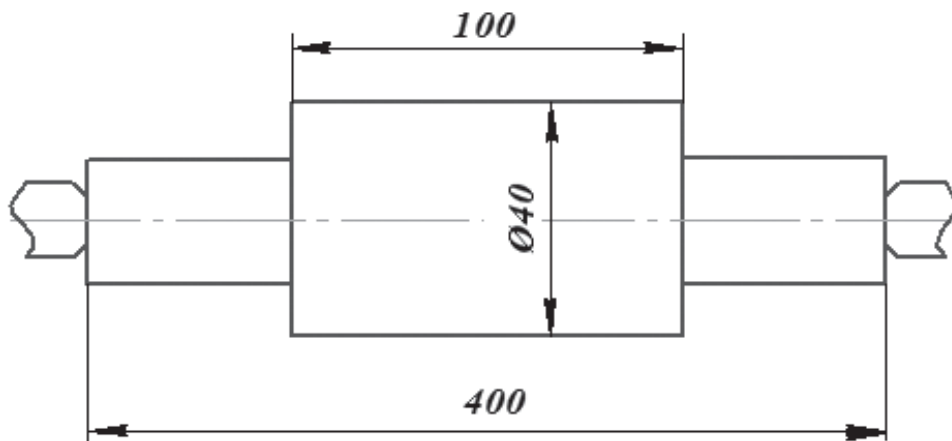
*Примечания*

1. Расчетная длина, на которой определяется номинальный операционный припуск, не распространяется на детали с очень сложной конфигурацией, а также на очень деформирующиеся после термообработки. Для этих операций припуски устанавливаются больше табличных.

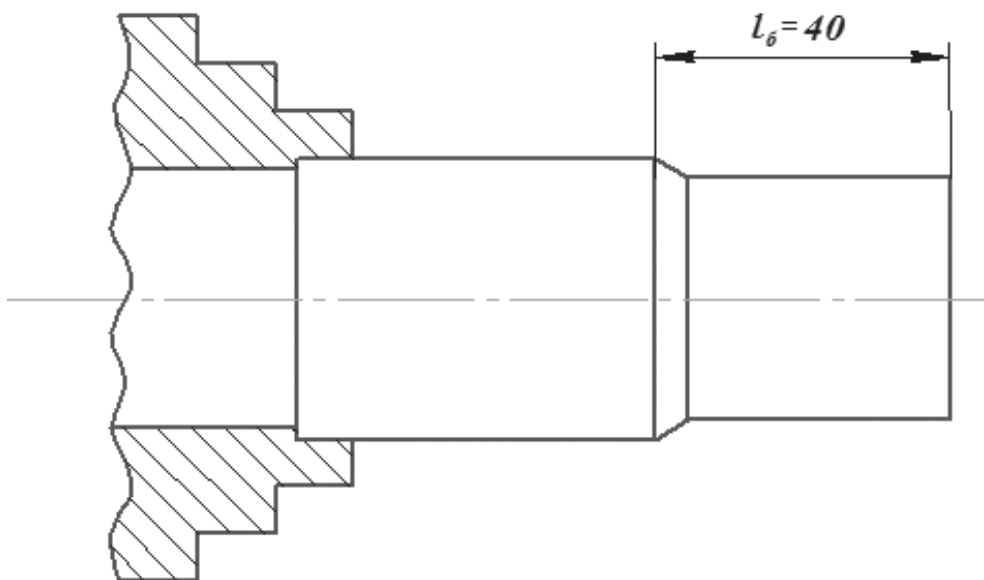
2. Если операция или переход разбивается на два рабочих хода: предварительный и окончательный, то на предварительный назначается  $\approx 70\%$  номинального припуска и  $30\%$  на окончательный.

3. Номинальные операционные припуски заданы с учетом правки заготовки до механической обработки, а также рихтовки после каждого вида обработки нежестких или деформируемых деталей.





*a*



*б*

Рис. 2.6. Схемы для определения расчетной длины валов

Рассмотрим пример расчета общего номинального припуска (табличным методом). Определить диаметр заготовки из проката для ступенчатого вала, общая длина которого  $l = 280$  мм и наибольший диаметр шейки  $d = 40h9$ .

Шейка расположена посередине вала, длина ее  $l_{ш} = 50$  мм, вал подвергается термической обработке – закалке.

Обработка по наружной цилиндрической поверхности производится по следующему маршруту [5]:

1) точение черновое; 2) точение чистовое; 3) термическая обработка; 4) шлифование наружное в центрах.

Для использования таблиц определим расчетную длину вала, для которого рассчитывается припуск.

Диаметр вала по чертежу –  $40h9 (-0.062)$ .

Расчетная длина, по которой определяется номинальный припуск для средней части вала – 280 мм.

$$\frac{l_{расч}}{d} = \frac{280}{40} = 7.$$

Заготовка – сталь горячекатаная, круглая, повышенной точности (в соответствии со стандартом).

*Последовательность расчета [5]*

1. Диаметр вала после шлифования –  $40h9$ .
2. Номинальный операционный припуск на диаметр для шлифования детали в центрах с учетом термической обработки – 0,5 мм.
3. Диаметр вала после чистового точения –  $(40,5 + 2,0)h13 = 42,5h13$ .
4. Номинальный операционный припуск для чистового точения – 2,0 мм.
5. Диаметр вала после чернового точения –  $(40,5 + 2,0)h13 = 42,5h13$ .
6. Номинальный припуск для чернового точения с учетом расчетной длины – 4,5 мм.
7. Расчетный диаметр заготовки  $42,5 + 4,5 = 47,0$  мм.
8. По сортаменту ГОСТ 2590–88 – диаметр  $\text{Ø}47^{+0,2}_{-0,6}$  с учетом минимального припуска.

*Пути уменьшения массы заготовок*

Для отливок – это более широкое использование вместо литья в песчано-глинистые формы литья в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, под давлением в металлические формы. При этом надо исходить из технологических возможностей новых методов литья и экономической целесообразности замены.

Для поковок, изготавливаемых в малосерийном производстве, применяют подкладочные штампы, позволяющие придать заготовке форму, более близкую к форме готовой детали, что уменьшает отходы механической обработки. Использование при горячей штамповке закрытых штампов (вместо открытых) уменьшает потери металла на облой.

Перспективно использование вместо штамповок периодического проката, что дает экономию металла до 24...30 %, повышает производительность труда в заготовительных и механообрабатывающих цехах. Периодический прокат может быть использован при изготовлении заготовок некоторых деталей машин, таких как корпуса глубинных вибровозбудителей, гауч-валы, пресс-валы, распределители, полуоси автомобилей и т. п.

Более широко используют вместо отливок штампосварные заготовки, которые позволяют уменьшить объем механической обработки и снизить себестоимость детали. Крупные отливки (траверсы, прессы, станины агрегатов и др.) заменяют сварно-литыми, что снижает трудоемкость изготовления и их металлоемкость.

Следующее направление снижения массы заготовок – замена стали и чугуна пластмассами, что уменьшает объем их последующей механической обработки.

Резервы снижения массы отливок и штамповок и уменьшение объема их механической обработки возможны при расчете их припусков по существующему стандарту. Так, ГОСТ 26645–85 «Отливки из металлов и сплавов» предусматривает 6 классов рядов припусков, а ГОСТ 7505–89 «Поковки стальные штампованные» – 5 классов точности штамповок, т. е. стандарты дают широкие возможности снижения припусков на механическую обработку. Однако в каждом случае возможность уменьшения припусков подлежит экспериментальной проверке.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Перечислите основные виды заготовок для деталей машины.
2. Назовите основные способы получения отливок и дайте им краткую характеристику.
3. Перечислите операции подготовки отливок и штамповок к механической обработке.
4. Что такое припуск на обработку (общий), операционный припуск, напуск?
5. Укажите примерное значение толщины поврежденных слоев отливок и поковок.
6. В чем заключается сущность расчетного метода определения припусков заготовок?
7. Какие существуют пути уменьшения массы отливок и поковок?

### 3. БАЗИРОВАНИЕ И БАЗЫ

#### 3.1. ВИДЫ УСТАНОВОК ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ

Существует два основных вида установки деталей (заготовок) на станках: установка заготовки на станке с выверкой ее положения и установка заготовки на станке без выверки ее положения.

**Установка заготовки на станке с выверкой ее положения** может быть без разметки и по разметке. Для проверки точности установки заготовки на станке применяют линейки, уровни (для выверки горизонтального положения поверхностей), штангенрейсмусы, рейсмусы.

По разметке устанавливают главным образом крупные поковки и отливки, а также заготовки сложной конфигурации (например, сложные отливки). При разметке заготовку покрывают меловой краской, а затем, после того как краска высохнет, на заготовку наносят осевые линии, контуры детали, «выкраивая» деталь из заготовки. Чтобы линии были заметнее, вдоль них через определенные промежутки наносят кернером углубления. Заготовку на станке устанавливают по проведенным осям и линиям, что облегчает операцию.

Разметка весьма трудоемка и требует высокой квалификации рабочего (разметчика). Установка заготовки по разметке не обеспечивает высокой точности. Точность разметки составляет 0,2...0,5 мм. В условиях крупносерийного и массового производства применение разметки недопустимо.

**Установку заготовки на станке без выверки ее положения** чаще применяют в условиях крупносерийного и массового производств с использованием специальных приспособлений. Этот вид установки обеспечивает достаточно высокую точность обрабатываемой заготовки и небольшие затраты времени на закрепление детали. В этом случае отпадает необходимость выверки точности установки заготовки на станке, устраняется влияние субъективных факторов на точность расположения детали на станке. Даже при применении специальных приспособлений станок периодически

настраивают. Настройка заключается в установке режущего инструмента относительно приспособления в такое положение, при котором обеспечивается требуемый размер обрабатываемых заготовок. Настройку станка производят либо при замене режущего инструмента, либо для восстановления размера детали в связи с износом инструмента.

В некоторых случаях заготовку устанавливают на станке без выверки ее положения с применением только универсальных приспособлений. Например, установка зацентрированной заготовки в центрах токарного станка, установка заготовки обработанной поверхностью на стол фрезерного станка.

### 3.2. БАЗЫ И ИХ ВЫБОР

При проектировании машины конструктор определяет точность изготовления ее деталей, узлов, а также точность их взаимного расположения. Заданная на чертеже точность должна быть обеспечена при разработке технологического процесса изготовления детали. В связи с этим в процессе обработки заготовка должна занимать вполне определенное положение относительно узлов станка, инструмента и приспособления. Выбирают это положение на основе теории базирования. Положения этой теории, термины и определения приведены в ГОСТ 21495–76.

**Базированием** называют придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат (относительно элементов станка и режущего инструмента).

Поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащие заготовке или изделию и используемые для базирования, называются **базой**.

Базами служат поверхности, линии, точки и их совокупности, используемые для расположения заготовок (деталей) в узле или изделии, для ориентации заготовки на станке, для измерения детали. По назначению базы делятся:

- на конструкторские;
- технологические;
- измерительные.

**Конструкторская база** – совокупность поверхностей, линий, точек, от которых заданы размеры и положение детали или сборочной единицы в изделии. Конструкторские базы могут быть реальными (материальная поверхность) или геометрическими (осевые линии, точки).

**Технологические базы** – поверхности (а также линии и точки) детали, служащие для *установки заготовки* на станке и ориентирующие ее относительно режущего инструмента. **Установочными базами** могут быть различные поверхности заготовок (наружные и внутренние цилиндрические поверхности, центровые гнезда, плоскости, поверхности зубьев колес, поверхность резьбы). В качестве баз при первоначальной обработке используют необработанные поверхности (черновые базы), при последующей обработке – обработанные поверхности (чистовые базы).

Технологические базы делятся на *основные и вспомогательные*. **Основные технологические базы** – это поверхности, которые не только ориентируют заготовку (деталь) на станке, но и задают положение детали в машине относительно других деталей при ее работе. Например, отверстие зубчатого колеса является основной базой, используемой для ориентации колеса при сборке относительно других деталей. Это же отверстие может быть использовано и для установки зубчатых колес при обработке на станке.

**Вспомогательные технологические базы** – это поверхности, которые используют только для установки заготовки на станке, они не имеют особого значения для работы детали в машине. Примером вспомогательной базы могут служить центровые гнезда у вала, обтачиваемого и шлифуемого с установкой его в центрах.

**Измерительная база** – поверхность (линия или точка), от которой измеряют выдерживаемые размеры.



**Правило шести точек.** При установке заготовки на станке (в приспособлении) необходимо лишить ее всех степеней свободы.

Из механики известно, что каждое твердое тело имеет шесть степеней свободы (три поступательных и три вращательных движения относительно трех взаимно-перпендикулярных осей). Чтобы лишить заготовку всех степеней свободы, необходимо ее прижать к шести неподвижным точкам приспособления, так как неподвижная одноточечная опора лишает тело только одной степени свободы. Таким образом, при базировании детали в приспособлении необходимо иметь шесть одноточечных опор (правило шести точек). На рис. 3.1 приведена схема базирования призматической детали по шести точкам. Стрелками показано направление трех зажимов.

Шесть опорных точек должны быть расположены в трех взаимно-перпендикулярных плоскостях: три точки (1, 2 и 3) в плоскости XOY, две точки (4 и 5) в плоскости XOZ и одна точка (6) в плоскости YOZ.

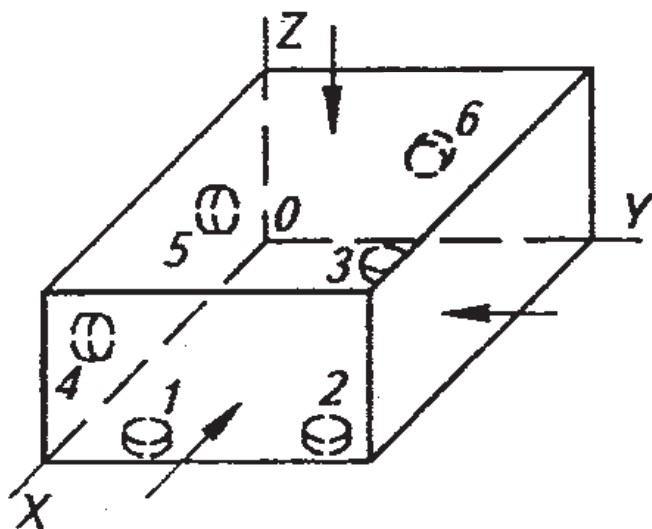


Рис. 3.1. Схема базирования призматической детали по шести точкам: 1–6 – опорные точки

Три точки (1, 2 и 3) лишают деталь возможности перемещаться в направлении оси Z и вращаться вокруг осей X и Y, т. е. лишают деталь трех степеней свободы. Две точки (4 и 5) не дают возможности детали перемещаться в направлении оси Y и вращаться вокруг оси Z, т. е. лишают деталь двух степеней свободы. Точка 6 лишает деталь одной степени

свободы – не дает возможности перемещаться в направлении оси X.

Если увеличить число неподвижных опор сверх шести, то окажется, что деталь не будет опираться на все опоры либо при недостаточной жесткости она силой зажима может быть деформирована и прижата ко всем опорам. Излишнее

число опор может привести к ошибкам закрепления, когда неточность обработки базирующих поверхностей будет превышать определенные пределы.

Точечные опоры (в виде штифтов со сферической головкой) в приспособлениях применяют при базировании заготовок, имеющих необработанные базовые поверхности (черновые базы); при установке заготовок с чисто обработанными поверхностями (чистовые базы) применяют опоры в виде пластин во избежание вмятин (при применении штифтов).

По лишаемым степеням свободы технологические базы разделяют на установочные (лишают заготовку трех степеней свободы), направляющие (лишают заготовку двух степеней свободы) и опорные (лишают заготовку одной степени свободы). Применительно к базированию призматической детали (см. рис. 3.1) плоскость  $XOY$  – установочная база,  $XOZ$  – направляющая база,  $YOZ$  – опорная база.

По характеру проявления технологические базы разделяют на явные и скрытые. Явная база – база в виде реальной поверхности. Скрытая (условная) база – база в виде воображаемой плоскости, оси или точки. На рис. 3.2 показана схема крепления заготовки в призмах самоцентрирующих тисков. Здесь цифрой I обозначена технологическая явная база, цифрой II – направляющая скрытая (условная) база, цифрой III – опорная скрытая (условная) база заготовки. Использование условных (скрытых) баз в некоторых случаях повышает точность базирования в результате исключения из расчетов погрешностей реальных поверхностей.

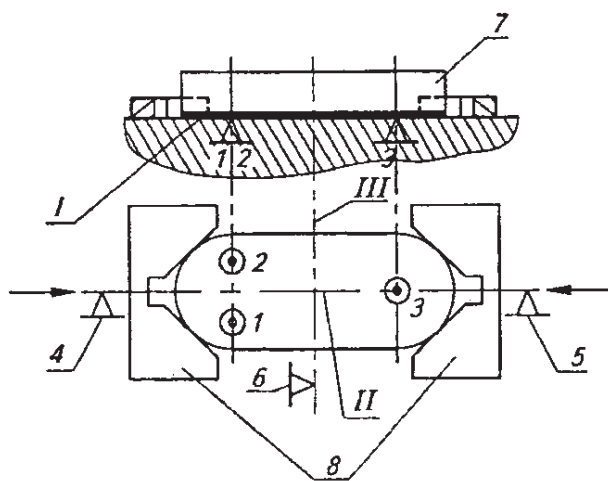


Рис. 3.2. Схема крепления заготовки в призмах самоцентрирующих тисков: 1–6 – опорные точки; 7 – заготовка; 8 – губки самоцентрирующих тисков

При базировании цилиндрической детали на призме (рис. 3.3) необходимо иметь также шесть одноточечных опор: 1–4 – на призме, 5 – в виде упора (для предотвращения осевого перемещения), 6 – в виде шпонки (для предотвращения вращательного движения).

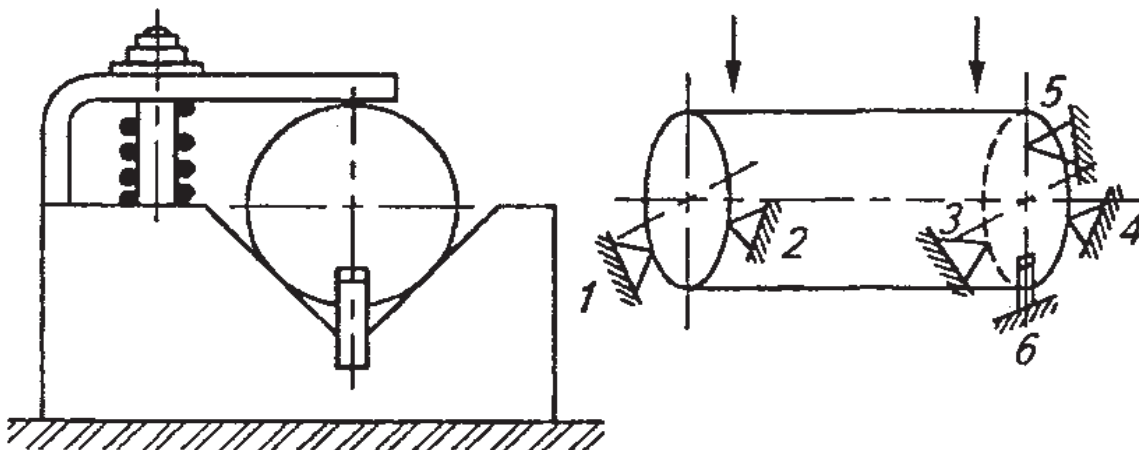


Рис. 3.3. Схема базирования цилиндрической детали на призме: 1–6 – опорные точки

**Правила совмещения и постоянства баз. Выбор баз.** Для достижения большей точности размеров детали придерживаются принципов совмещения и постоянства баз.

**Принцип совмещения баз требует совмещения установочной и измерительной баз.** Лучшие результаты по точности получаются в том случае, если установочная база является основной. При несовпадении измерительной и установочной баз возникают погрешности базирования.

**Погрешность базирования** – разность предельных расстояний измерительной базы относительно режущего инструмента (установленного на размер). Погрешность базирования имеет конкретный характер и рассчитывается для определенных условий обработки деталей.

При совмещении установочной и измерительной баз погрешность базирования равна нулю ( $\varepsilon_{\delta} = 0$ ). Кроме того, при работе методом пробных стружек, когда станок не настроен на размер и рабочий для каждой детали регулирует положение режущей кромки относительно детали, промеряет каждую деталь (от измерительной базы), погрешность базирования также

считается равной нулю ( $\varepsilon_\delta = 0$ ). На рис. 3.4 приведена схема установки при фрезеровании уступа. Фреза установлена на размер  $\alpha = \text{const}$  и  $b = \text{const}$  относительных точечных опор приспособления. Для размера  $\alpha$  установочная и измерительная базы совмещены, поэтому погрешность базирования  $\varepsilon_{\delta_\alpha} = 0$ . Колебания размера  $\alpha$  в процессе обработки партии деталей обусловлены неоднородностью материала заготовок, износом фрезы и др. Для размера  $h$  погрешность базирования равна допуску на размер  $H$ , т. е.

$$\varepsilon_{\delta h} = \Delta H,$$

где  $\Delta H$  – допуск на размер  $H$  заготовки.

Ошибка базирования возникает и при установке цилиндрической заготовки (вала) в призму (рис. 3.5).

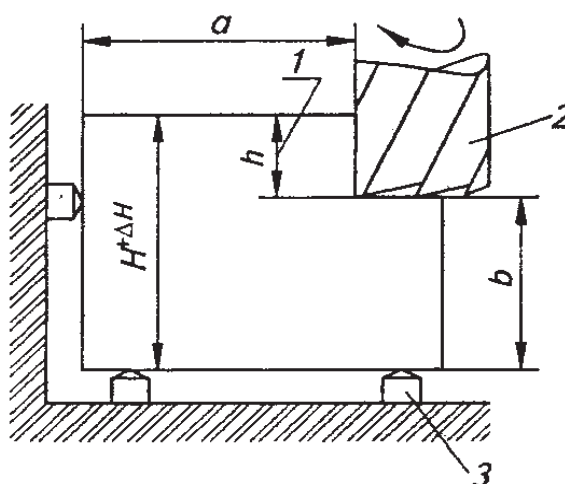


Рис. 3.4. Схема установки заготовки при фрезеровании уступа: 1 – высота уступа; 2 – фреза; 3 – опорные точки

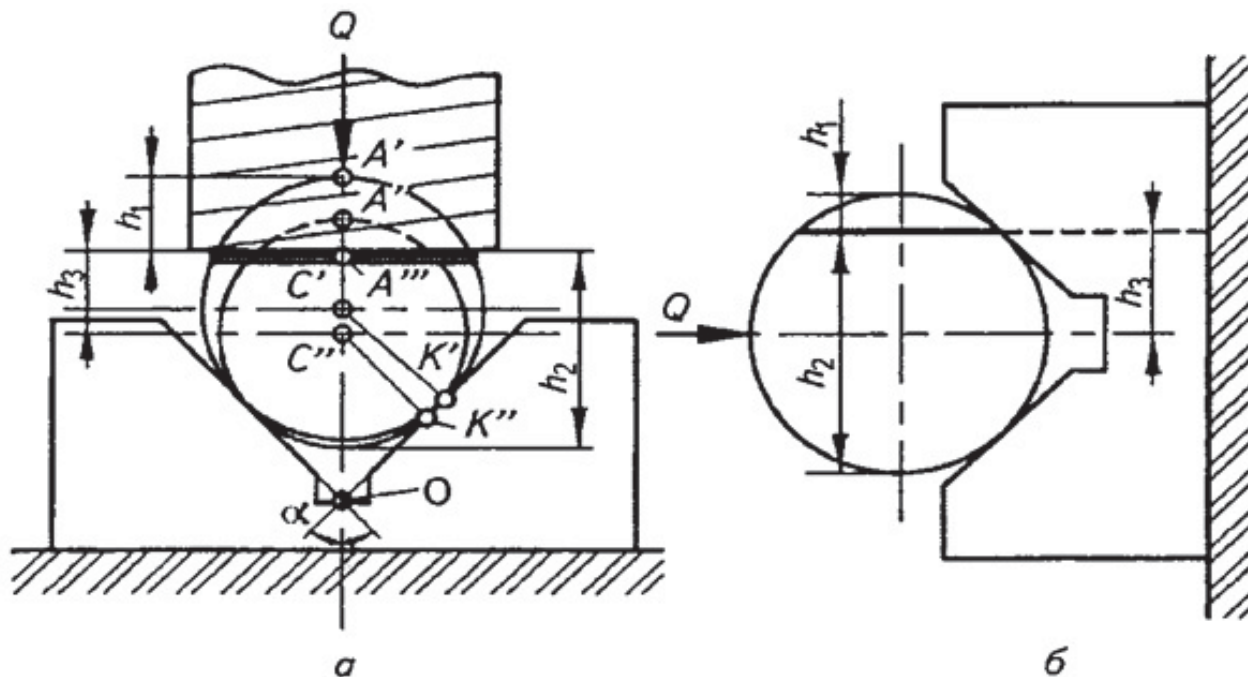


Рис. 3.5. Схемы к расчету погрешности базирования при установке вала в призму: а – при горизонтальной опоре; б – при вертикальной опоре

Любая цилиндрическая заготовка имеет допуск на диаметр, поэтому на рис. 3.5, а заготовка показана двумя диаметрами с центрами  $C'$  и  $C''$ , различающимися на величину допуска. Точки  $K'$  и  $K''$  – точки касания деталей с поверхностью призмы. При выполнении размера  $h_1$  погрешность базирования определяется разностью предельных размеров (точки  $A$  и  $A''$ ) до установленного на размер инструмента (точка  $A'''$ ):

$$\varepsilon_{\delta h_1} = OA' - OA'';$$

$$OA' = OC' + C'A' = \frac{C'K'}{\sin \frac{\alpha}{2}} + C'A' = \frac{D_{\max}}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right).$$

По аналогии  $OA'' = \frac{D_{\min}}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right).$

Следовательно,  $\varepsilon_{\delta h_1} = \frac{\delta_d}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right),$

где  $\delta_d$  – допуск на диаметр заготовки;  $\alpha$  – угол призмы.

По аналогии для размеров  $h_2$  и  $h_3$

$$\varepsilon_{\delta h_2} = \frac{\delta_d}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right); \quad \varepsilon_{\delta h_3} = \frac{\delta_d}{2} \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Погрешность базирования можно уменьшить, увеличивая угол призмы. Изменив положение призмы (рис. 3.5, б), можно уменьшить погрешности базирования для размеров  $h_1$  и  $h_3$ . Рассуждая аналогично, получим

$$\varepsilon_{\delta h_1} = \frac{\delta_d}{2}; \quad \varepsilon_{\delta h_3} = 0.$$

**Принцип постоянства базы** требует применения в ходе обработки детали в качестве установочной базы одних и тех же поверхностей. Наилучший случай – обработка детали с одной базы (например, точение из пруткового материала детали типа болта, втулки за один установ). Для соблюдения постоянства базы на деталях часто создают вспомогательные установочные базы (центровые гнезда в валах, выточки в юбке поршня, отверстия под установочные штифты в корпусных деталях типа блоков). В некоторых случаях постоянство установочной базы трудно выдержать. Тогда стремятся иметь

минимальное число баз и в качестве новой установочной базы выбирают более точно обработанные поверхности.

При выборе черновых баз руководствуются несколькими *основными правилами*.

1. Базовые поверхности должны быть по возможности ровными и чистыми. Не следует принимать за базы поверхности, на которых располагаются литники, выпоры, заусенцы.

2. Базовые поверхности должны располагаться стабильно относительно других поверхностей. Так, не следует брать за черновую базу поверхность отверстия, получаемого отливкой, поскольку расположение отверстия может изменяться из-за смещения стержня.

3. За черновые базы рекомендуется принимать поверхности с минимальными припусками или вообще не подвергаемые обработке. Это уменьшает опасность появления брака по черноте. В качестве примера на рис. 3.6 приведена схема обработки на токарном станке детали типа втулки, наружный диаметр которой не требует обработки. При установе А следует закрепить деталь за необрабатываемую поверхность (рис. 3.6, а); в данном случае внутренняя цилиндрическая поверхность будет концентрична наружной. Если при установе А базировать деталь по внутренней поверхности (рис. 3.6, б), то после обработки на установе Б может образоваться неконцентричность

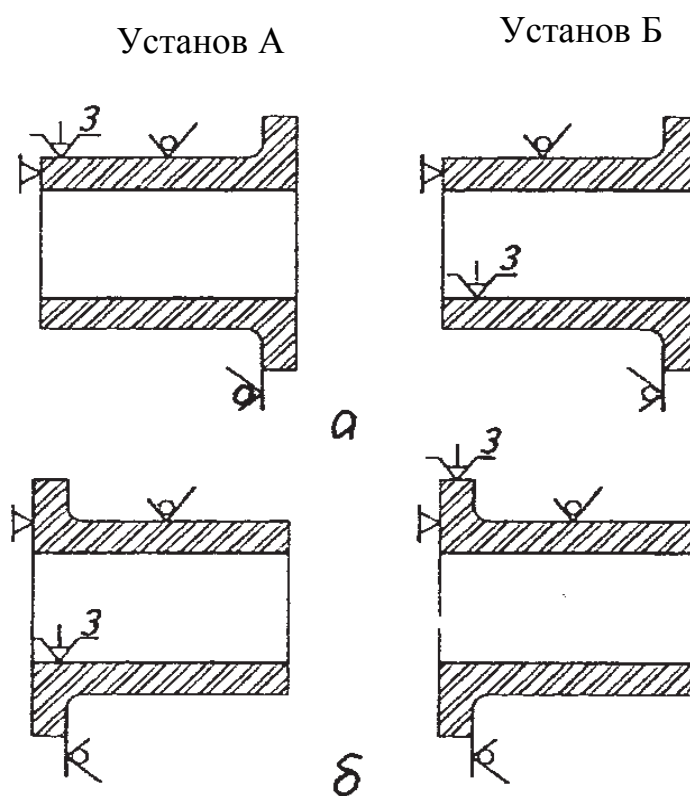


Рис. 3.6. Схемы обработки втулки, наружный диаметр которой не требует обработки:  
а – правильно; б – неправильно

наружной и внутренней поверхностей, т. е. разностенность детали или даже появление брака по черноте.

4. Черновые базы при переустановке заготовки заменяют чистовыми.

Чистовые базы выбирают с учетом следующих соображений:

- при чистовой обработке в качестве установочных баз, если есть выбор, выбирают основные, а не вспомогательные базы; это обеспечивает большую точность обработки;

- желательно вести обработку при минимальном числе баз;

- необходимо соблюдать принцип совмещения баз, т. е. совмещать установочную и измерительную базы;

- установочная база должна быть выбрана с учетом отсутствия деформаций заготовки; это достигается соответствующим расположением базовых поверхностей и приложением силы зажима к детали.

Правильно выбранные базы (черновые и чистовые) должны обеспечить простоту и дешевизну приспособлений, удобство установки детали.

**Основные виды базирующих поверхностей.** В качестве базирующих поверхностей при точении, шлифовании тел вращения используют наружную или внутреннюю цилиндрическую поверхность и торец, два центровых гнезда либо наружную или внутреннюю цилиндрическую поверхность и центровое гнездо.

При фрезеровании и сверлении с применением зажимных приспособлений в качестве базирующих поверхностей берут две взаимно-перпендикулярные плоскости и опорную точку в третьей взаимно-перпендикулярной плоскости (рис. 3.7, *а*); плоскость и два коротких отверстия для шпилек (рис. 3.7, *б*), три или четыре центровых гнезда (рис. 3.7, *в*), призмы для зажима цилиндрических деталей (рис. 3.7, *з, д*).

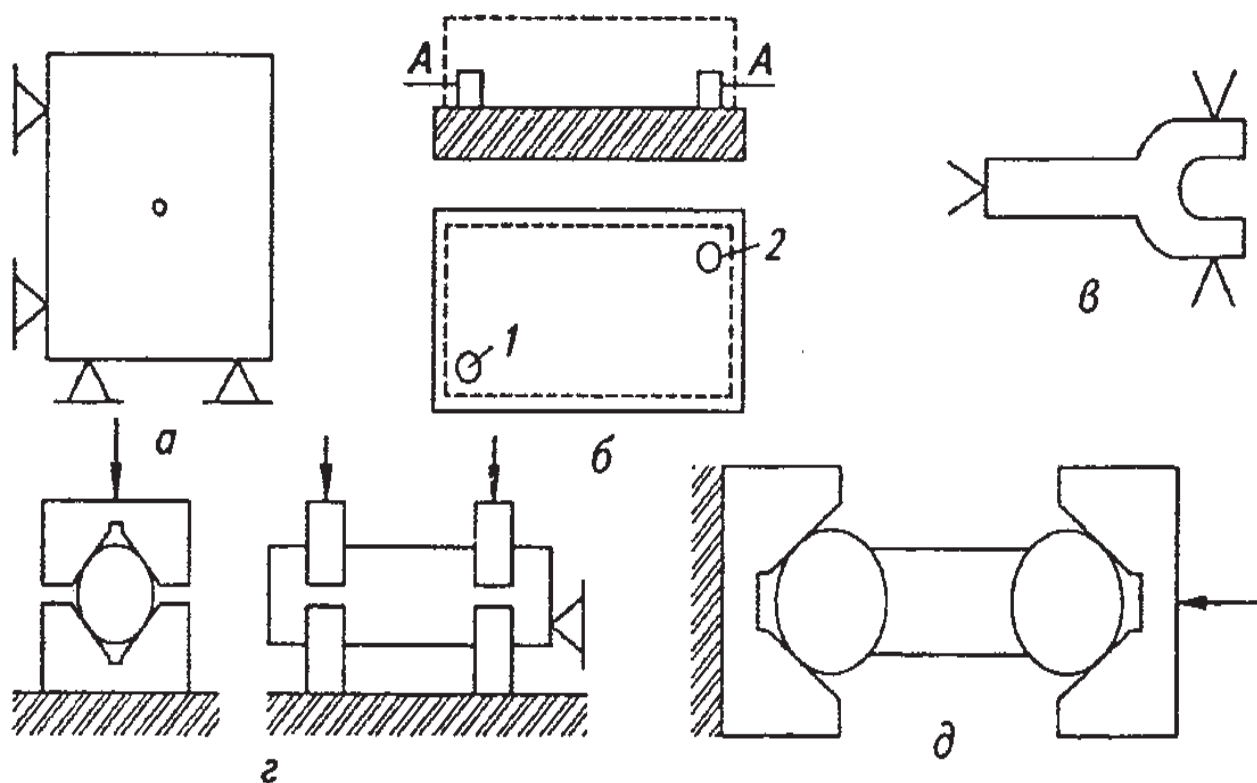


Рис. 3.7. Базирование деталей при фрезеровании и сверлении: а–д – варианты; 1, 2 – шпильки

Шпильки (рис. 3.8) для базирования корпусных деталей делают разными: шпилька 1 цилиндрическая, а 2 – со срезанными боками. Это позволяет устанавливать детали на шпильки при наличии некоторого допуска в межцентровом расстоянии между отверстиями под шпильки. Кроме того, для облегчения установки одна шпилька может быть короче другой.

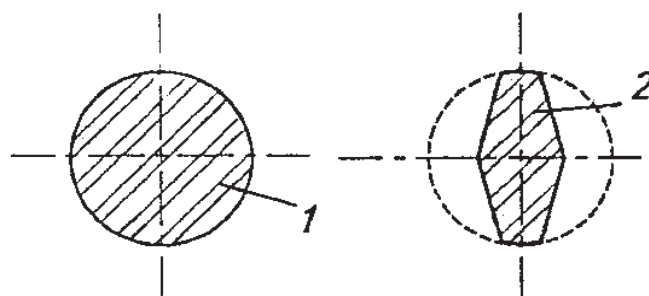


Рис. 3.8. Шпильки для базирования корпусных деталей

Графические обозначения опор, зажимных и установочных устройств по ГОСТ 3.1107–81 приведены в табл. 3.1, примеры выполнения схем установок деталей – в табл. 3.2.



Таблица 3.1

## Графические обозначения опор, зажимов и установочных устройств











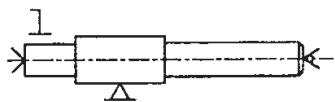
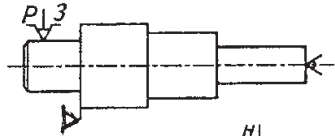
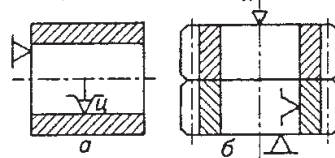
Наименование	Обозначение на видах		
	спереди	сверху	снизу
Центры: неподвижный вращающийся плавающий		Без обозначения	Без обозначения
Патроны двух-, трех-, четырехкулачковые (число кулачков указывают цифрой справа)			
Патроны поводковые			
Патроны и оправки шариковые			
Оправка цилиндрическая			
Оправка коническая			
Оправка цанговая			
Опоры и люнеты:			
неподвижные			
подвижные			
Зажимы:			
одиночный			
двойной			

Таблица 3.2

## Примеры выполнения схем установок деталей

Описание способа установки	Схема обозначения
С неподвижным и вращающимися центрами, в поводковом патроне и в неподвижном люнете	
В трехкулачковом патроне с пневматическим зажимом и во вращающемся центре с упором в бурт	
На оправках: а — цанговой с упором в торец б — цилиндрической с упором в торец и гидравлическим зажимом	
В тисках с призматическими губками и пневматическим зажимом с опорой на плоскость (три неподвижные опоры)	

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие бывают виды установок деталей на станках? В чем их сущность?
2. Что такое базы? Назовите их разновидности.
3. В чем заключается правило шести точек?
4. Перечислите правила совмещения и постоянства баз. Что такое погрешность базирования?
5. Какие соображения принимают во внимание при выборе черновых и чистовых баз?
6. Назовите основные виды базирующих поверхностей при точении и шлифовании, фрезеровании и сверлении.

## 4. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

### 4.1. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Важнейшие показатели качества машин в значительной степени определяются точностью изготовления механизмов. Не случайно поэтому точность является одной из определяющих характеристик современного машиностроения. Повышение нагрузок и скоростей машин, а также возрастание требований к их надежности заставляют уделять все больше внимания обеспечению точности изготовления механизмов, сборочных единиц и отдельных деталей.

Под точностью обработки понимают соответствие формы, размеров и положения обработанной поверхности требованиям чертежа и технических условий.

Точность обработки разных поверхностей детали в виде допусков задает конструктор в рабочем чертеже. Заданную точность обработки выдерживает технолог, который должен иметь ясное представление о причинах возникновения погрешностей при механической обработке. Изготовить деталь абсолютно точно невозможно, так как при ее обработке всегда возникают погрешности. Вместе с тем абсолютная точность при изготовлении деталей практически и не требуется. Обеспечить точность обработки – это значит обеспечить соблюдение геометрических параметров обработанных деталей в пределах заданных допусков.

По ряду причин при любых методах обработки полученное значение параметра отличается от заданного. Разность этих значений называют **погрешностью обработки** [6]. Абсолютная погрешность  $\Delta X$  выражается в единицах рассматриваемого параметра и определяется разностью между действительным (полученным) значением параметра  $X_D$  и его номинальным (заданным) значением  $X_H$ :  $\Delta X = X_D - X_H$ . Отношение абсолютной погрешности к заданному значению параметра называют относительной погрешностью:

$$\Delta X / X_H \text{ или } \Delta X / X_H \cdot 100 \text{ \%}.$$

При несимметричном расположении поля допуска вместо номинального значения параметра принимают его среднее значение. Например, при размере  $60^{+0,174}_{+0,100}$  его заданное значение равно 60,137.

Классификацию погрешностей обработки можно укрупненно представить в следующем виде (рис. 4.1): 1)  $\Delta_d$  – погрешности размера; 2)  $\Delta_p$  – погрешности расположения поверхностей; 3)  $\Delta_\phi$  – погрешности формы поверхности; 4)  $\Delta_v$  – волнистость поверхности; 5)  $\Delta_{ш}$  – шероховатость поверхности.

Оптимальная точность изготовления деталей обеспечивается ограничением указанных погрешностей их предельными значениями, т. е. соответствующими допусками.

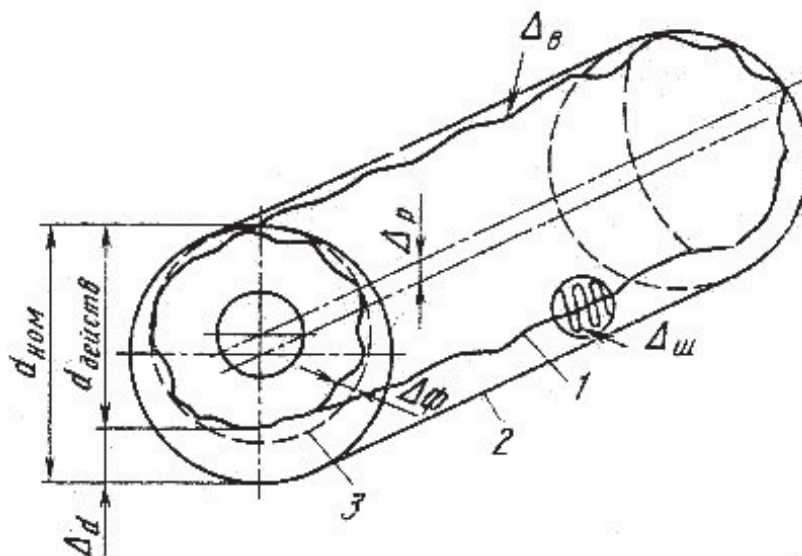


Рис. 4.1. Погрешности обработки: 1 – действительный профиль; 2 – номинальный профиль; 3 – прилегающая окружность

Заданные чертежом допуски, ограничивающие отклонения геометрических параметров поверхностей детали, должны обеспечить служебное назначение машины. Эти допуски устанавливаются соответствующими стандартами.

Стандарты единой системы допусков и посадок (ЕСДП) распространяются на гладкие сопрягаемые и несопрягаемые элементы деталей с номинальными размерами до 10 000 мм (ГОСТ 25346–82, ГОСТ 25347–82, ГОСТ 25348–82).

Степени точности по ЕСДП называют квалитетами. Установлено 19 квалитетов: 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17. Точность убывает от квалитета 01 к квалитету 17.

Допуск квалитета условно обозначается сочетанием прописных букв и номера квалитета, например *IT1*, *IT2*, *IT5*, *IT12* и т. д.

Термины и определения, относящиеся к основным видам отклонений допусков формы и расположения, установлены ГОСТ 24642–81. В основу нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения поверхностей положен принцип прилегающих поверхностей, прямых и профилей.

Под отклонением формы поверхности (профиля) понимают отклонение реальной поверхности (реального профиля) от формы номинальной поверхности (номинального профиля) (рис. 4.2).

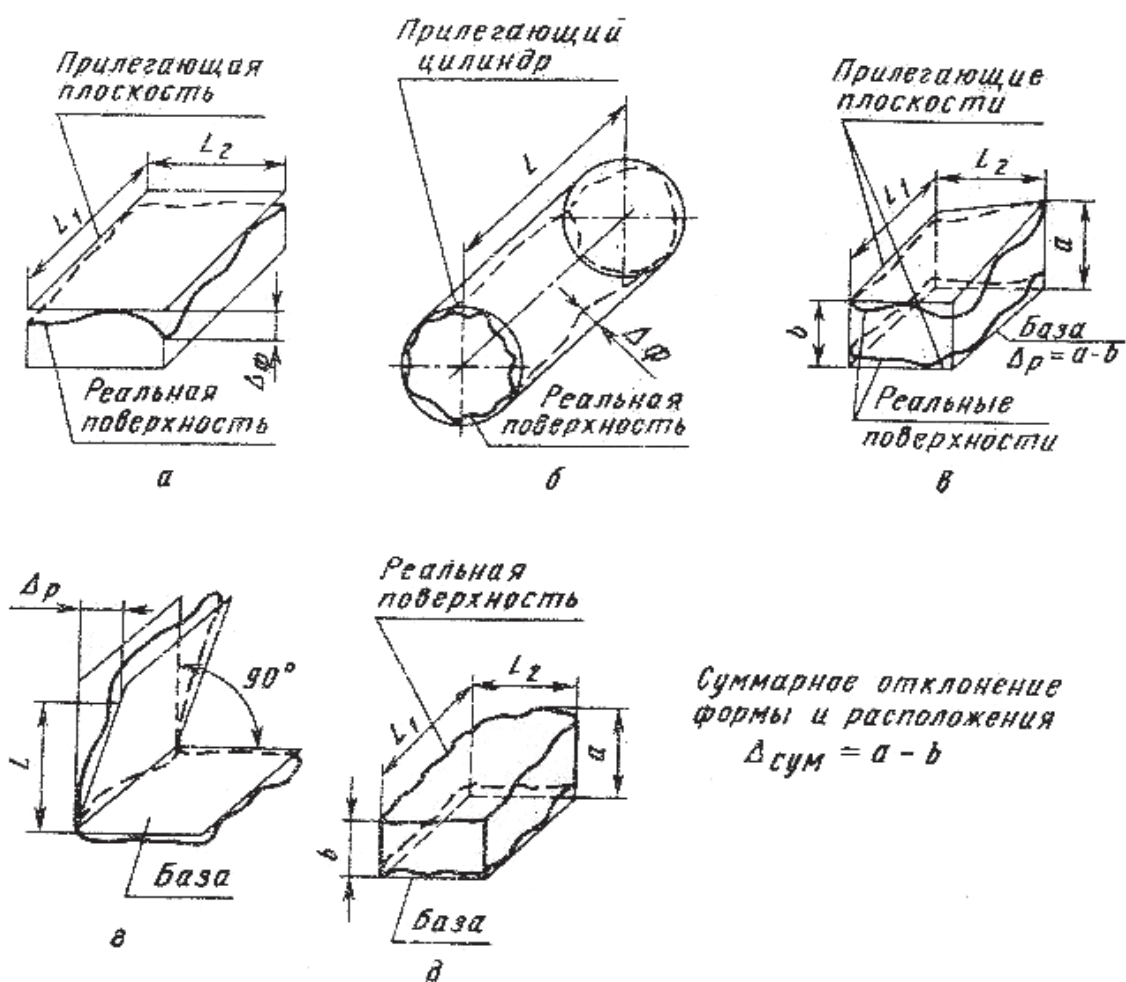


Рис. 4.2. Отклонение формы и взаимного расположения поверхностей

Количественно отклонение формы оценивается наибольшим расстоянием от точек реальной поверхности (реального профиля) до прилегающей поверхности (прилегающего профиля) по нормали к прилегающей поверхности (прилегающего профиля) (рис. 4.2, а, б).

Отклонение расположения – отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения (рис. 4.2, в, г).

Суммарные отклонения формы и расположения – отклонения, являющиеся результатом совместного отклонения формы и расположения рассматриваемой поверхности (рис. 4.2, д). Допуски формы и расположения поверхностей установлены ГОСТ 24643–81, который предусматривает 16 степеней точности.

Обозначение на чертежах допусков формы и расположения поверхностей деталей производится в соответствии с ГОСТ 2.308–79 двумя способами: условным обозначением или текстом в технических требованиях. Применение условных обозначений предпочтительнее.

Под **волнистостью поверхности** понимают совокупность периодически повторяющихся неровностей, у которых расстояния между смежными возвышенностями или впадинами превышают базовую длину  $l$ . Волнистость занимает промежуточное положение между отклонениями формы и шероховатостью поверхности (рис. 4.3). Волнистость поверхности относится к отклонению формы. В обоснованных случаях допускается нормировать волнистость отдельно.

Стандартами установлены допуски и посадки различных соединений (резьбовых, шлицевых, шпоночных, конических, зубчатых колес и передач и др.).

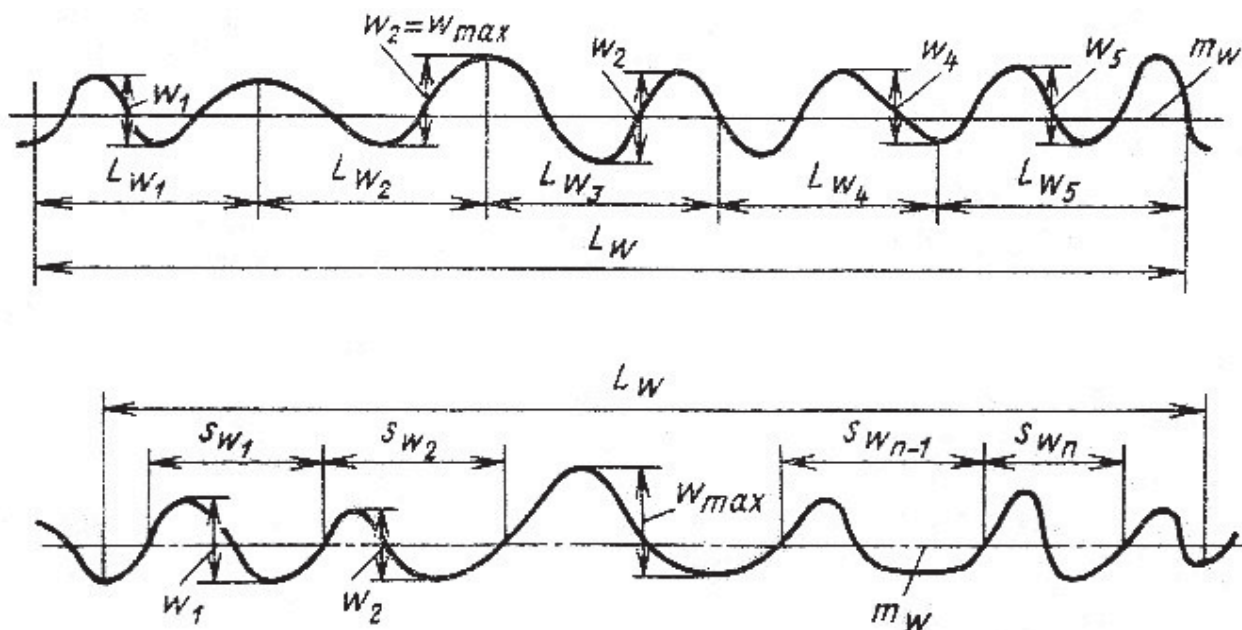


Рис. 4.3. Волнистость поверхности

Допустимую погрешность обработки указывают на чертеже с помощью соответствующих допусков.

### Геометрические погрешности станка, приспособлений и режущего инструмента

Металлорежущие станки, режущий инструмент и приспособления, как и все изделия, изготавливают с определенной степенью точности. Погрешности изготовления этих звеньев системы *станок – приспособление – инструмент – заготовка* оказывают влияние на точность изготовления деталей.

Геометрическая точность новых станков определяется стандартами; в процессе эксплуатации она понижается вследствие изнашивания отдельных узлов станка, нарушения регулировки и других причин. Погрешности изготовления металлорежущих станков приводят к образованию погрешностей обработки заготовок, которые определяют соответствующими расчетами. В качестве примера рассмотрим обработку прямоугольных пазов на горизонтально-фрезерном станке (рис. 4.4). В таких пазах наиболее ответственными являются боковые поверхности; точность размеров между этими

поверхностями ( $B$ ) определяется 8–11-м квалитетами. Точность размера глубины паза ( $t$ ) невелика; она соответствует 12–14-му квалитетам.

Погрешности обработки паза при наличии угла  $\beta$  приведены на рис. 4.4, *а*. При наличии угла  $\alpha$  происходит «разворот» паза на этот угол (рис. 4.4, *б*).

На точность обработки паза оказывают влияние погрешности станка: отклонение  $\beta$  от перпендикулярности оси вращения фрезы в горизонтальной плоскости (рис. 4.4, *в*), отклонение  $\alpha$  от параллельности оси вращения фрезы рабочей поверхности стола (рис. 4.4, *г*).

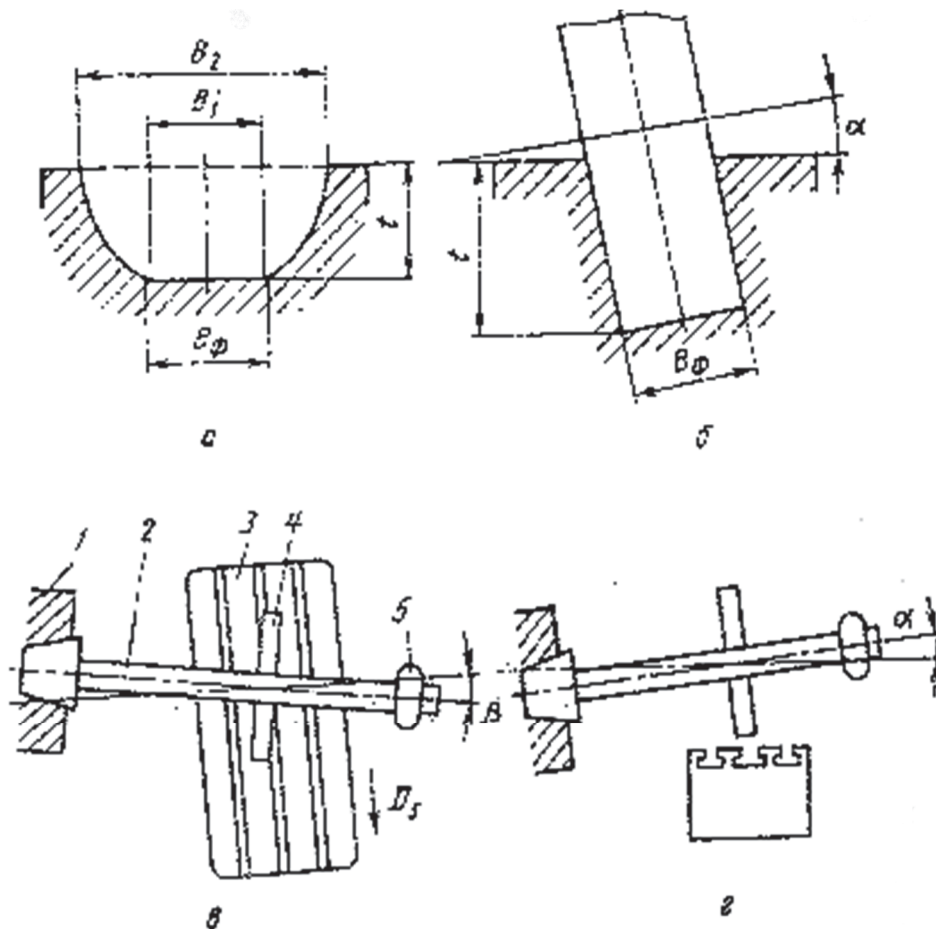


Рис. 4.4. Влияние геометрических погрешностей станка на образование погрешностей при обработке прямоугольных пазов: 1 – шпиндель станка; 2 – оправка; 3 – стол; 4 – фреза; 5 – подвеска

При одновременном влиянии отклонений ( $\alpha$  и  $\beta$ ) увеличение ширины паза у его верхней части

$$\Delta B = 2 \frac{\sin \beta}{\sin^2 \alpha} \sqrt{t(D_{\phi} \cos \alpha - t)}.$$



Учитывая малые значения углов  $\alpha$  и  $\beta$ , для практических целей можно пользоваться упрощенной зависимостью

$$\Delta B = 2 \sin \beta \sqrt{t(D_{\Phi} - t)},$$

где  $D_{\Phi}$  – диаметр фрезы.

Погрешности мерного режущего инструмента (сверла, зенкера, развертки, протяжки и т. п.), а также профильного инструмента (фасонные резцы, фрезы и т. п.) оказывают непосредственное влияние на образование погрешностей изготовления деталей. Погрешности немерного и непрофильного инструмента оказывают влияние на точность обработки косвенно. Например, торцевое биение трехсторонних дисковых фрез оказывает влияние на размер между боковыми поверхностями пазов.

Допустимые значения геометрических погрешностей режущего инструмента и приспособлений приводят в чертежах на их изготовление.

### **Погрешности обработки, вызываемые размерным изнашиванием инструмента**

В процессе резания инструмент изнашивается. Его изнашивание может происходить по задней или передней поверхности, а также одновременно по этим поверхностям (рис. 4.5).

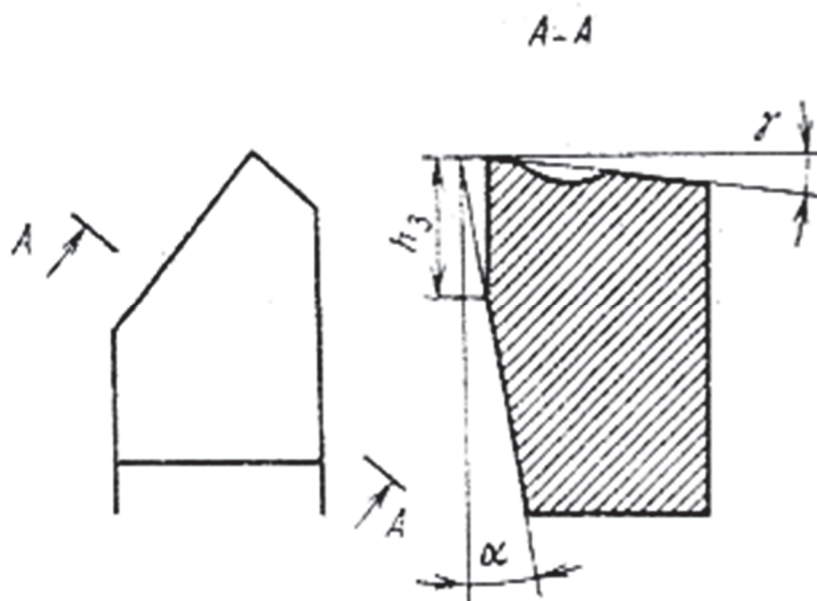
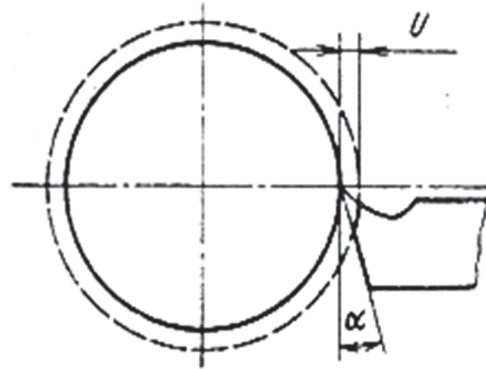


Рис. 4.5. Износ резца по задней и передней граням

Обычно при чистовой обработке происходит изнашивание по задней поверхности инструмента. За критерий изнашивания инструмента принимают износ  $h_3$  по задней поверхности.

На точность обработки оказывает влияние износ  $u$  лезвия инструмента в направлении, перпендикулярном к обрабатываемой поверхности, который называют размерным износом (рис. 4.6). Этот износ зависит от износа по задней грани инструмента, но не на участке



главной режущей кромки, а на участке, прилегающем к вершине режущего инструмента. Поэтому вычисление размерного износа по формуле  $u = h_3 \operatorname{tg} \alpha$  дает значительную погрешность, вследствие чего его определяют экспериментальным путем.

Погрешности вследствие размерного изнашивания инструмента будут следующими: для двусторонней обработки  $\Delta u = 2u$ ; для односторонней обработки  $\Delta u = u$ .

Следует отметить, что стойкость режущего инструмента выражается временем его работы между двумя последовательными повторными заточками. С точки зрения точности обработки основной является зависимость размерного износа  $u$  от пути резания:

$l = vT$ , где  $l$  – путь, пройденный инструментом в металле, м;  $v$  – скорость резания, м/мин;  $T$  – время резания, мин. Эта зависимость представлена на рис. 4.7.

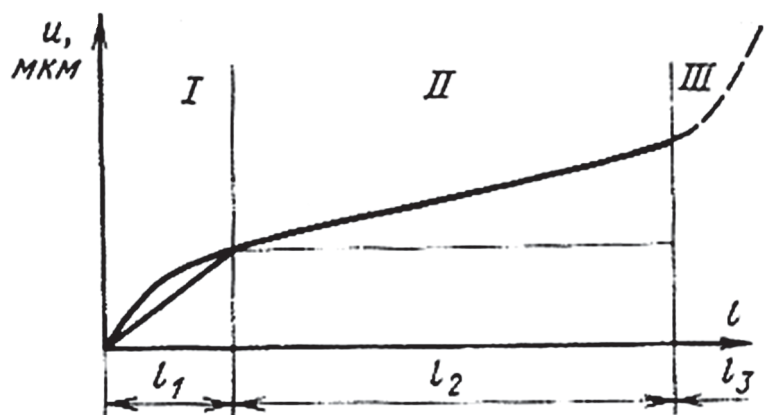


Рис. 4.7. Зависимость размерного износа резца от пути резания

В начальный период работы режущего инструмента (участок  $I$ ;  $l_1$ ) наблюдается повышенный его износ (кривая износа является выпуклой). Этот участок является незначительным, не превышает 1000 м и называется начальным износом ( $u_n$ ). Второй период (участок  $II$ ;  $l_2$ ) является основным и характеризуется нормальным износом инструмента, его длина составляет примерно 8000–30000 м. Этот участок прямолинеен, угол наклона прямой характеризует интенсивность размерного изнашивания инструмента. Третий период (участок  $III$ ;  $l_3$ , кривая вогнута) соответствует быстрому изнашиванию: через короткий промежуток времени происходит разрушение инструмента. Работа на участке  $III$  недопустима.

Характеристикой интенсивности размерного изнашивания на втором участке является относительный износ  $u_0$  – размерный износ (мкм), отнесенный к 1000 м пути резания:  $u_0 = 1000 u / l$  [6]. Зная величину  $u_0$ , можно определить размерный износ (мкм) для любого пути резания на участке  $II$ :

$$u = u_0 l / 1000.$$

Режущий инструмент, который допускает корректировку настроечного размера (резцы, фрезы, шлифовальные круги, раздвижные развертки и т. п.), позволяет компенсировать влияние размерного изнашивания на точность обработки. Для жестких размерных и фасонных (профильных) инструментов такая компенсация исключена.

### **Температурные деформации системы *станок – приспособление – инструмент – заготовка***

В процессе механической обработки происходит нагрев системы *станок – приспособление – инструмент – заготовка* в результате выделения теплоты в зоне резания, в различных узлах металлорежущих станков – вследствие трения, а также поступления теплоты от внешних источников. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что температурные деформации станков общего назначения оказывают незначительное влияние на точность обработки.

При конструировании прецизионного станка следует принимать необходимые меры, уменьшающие влияние колебания температуры его узлов на появление соответствующих погрешностей: подбор материалов для сопряженных деталей с малым коэффициентом расширения, изменение направления температурного деформирования отдельных узлов станка таким образом, чтобы оно не влияло на точность обработки, и др. Для устранения влияния колебаний температуры окружающей среды на прецизионные станки их устанавливают в помещении с постоянной температурой. Нагревание заготовок в процессе обработки происходит благодаря теплоте резания. Основное количество теплоты аккумулируется в стружке (при точении, фрезеровании, наружном протягивании). В обрабатываемую заготовку переходит незначительное количество теплоты: примерно 3–9 %. При сверлении же большая часть теплоты (более 50 %) остается в заготовке.

Для уменьшения температурных деформаций обрабатываемых заготовок обработку следует вести с обильным охлаждением. Чистовая обработка должна выполняться после черновой и получистовой обработки с перерывом, достаточным для охлаждения заготовки.

Температура рабочей поверхности резцов в зоне резания составляет 800–1000 °С и выше; с удалением от зоны резания температура стержня резца заметно снижается.

Зависимость удлинения резца от времени резания под действием теплоты приведена на рис. 4.8. В начале резания наблюдается быстрое повышение температуры резца и его соответствующее удлинение. Затем наступает тепловое

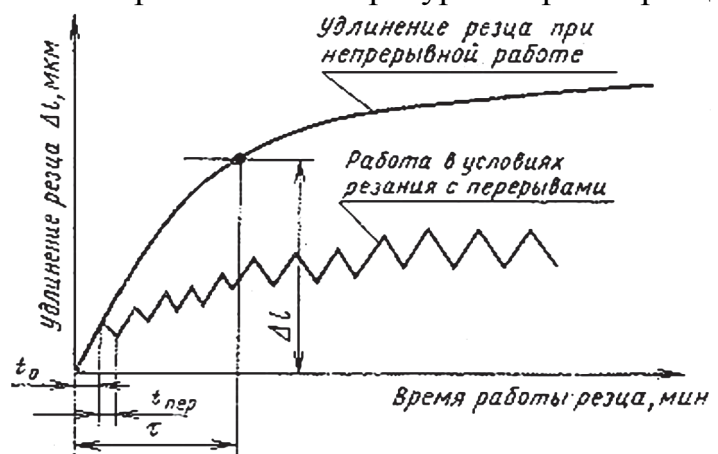


Рис. 4.8. Зависимость удлинения резца от времени его работы

равновесие, и удлинение резца прекращается. По результатам экспериментальных исследований установлена эмпирическая формула для

расчета удлинения резца с пластинкой из твердого сплава Т15К6 при установившемся тепловом равновесии [1]

$$\Delta l_T = C \frac{L_p}{F} \sigma_B (t S_0)^{0,75} v^{0,5},$$

где  $C$  – постоянная (при  $t < 1,5$  мм,  $S_0 < 0,2$  мм/об,  $v = 100 \dots 200$  м/мин,  $C = 0,45$ );  $L_p$  – вылет резца, мм;  $F$  – площадь поперечного сечения резца, мм<sup>2</sup>;  $\sigma_B$  – временное сопротивление материала заготовки, МПа;  $t$  – глубина резания, мм;  $S_0$  – подача, мм/об;  $v$  – скорость резания, м/мин.

Погрешности, вызываемые температурным деформированием режущего инструмента, можно практически исключить, если в зону резания подводить большое количество охлаждающей жидкости.

### **Упругие перемещения системы *станок – приспособление – инструмент – заготовка***

Под действием сил резания звенья упругой системы *станок – приспособление – инструмент – заготовка* перемещаются. Вследствие этого режущие кромки, образующие обрабатываемую поверхность, отклоняются от исходного статического положения, а фактический размер детали будет отличаться от настроечного.

Значения перемещений упругой системы *станок – приспособление – инструмент – заготовка* зависят от жесткости этой системы и сил резания, действующих на нее.

Жесткостью данной упругой системы называют отношение составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению лезвия инструмента относительно заготовки ( $y$ ), отсчитываемому в том же направлении:

$$j = P_y / y \quad P_y, \quad (4.1)$$

где  $P_y$  – сила резания, направленная по нормали к обрабатываемой поверхности, Н;  $y$  – смещение лезвия инструмента относительно детали, м.

Следовательно, понятие «жесткость» – комплексное. При определении жесткости задается направление смещения, но рассматривается влияние не только одной составляющей силы резания  $P_y$ , но и других составляющих. Схема обработки вала заготовки на токарном станке приведена на рис. 4.9.

Сила  $P_y$  оказывает наибольшее влияние на точность обработки. Смещение лезвия инструмента по нормали к обрабатываемой поверхности оказывает решающее влияние на формирование погрешности обработки. Перемещение в направлении по касательной к обрабатываемой поверхности оказывает незначительное влияние.

Рассуждения о жесткости всей системы *станок – приспособление – инструмент – заготовка* можно отнести и к жесткости ее составляющих звеньев: станка, приспособления, инструмента, заготовки. В свою очередь жесткость станка можно рассматривать как величину, состоящую из жесткости его узлов, например суппорта, передней бабки, задней бабки.

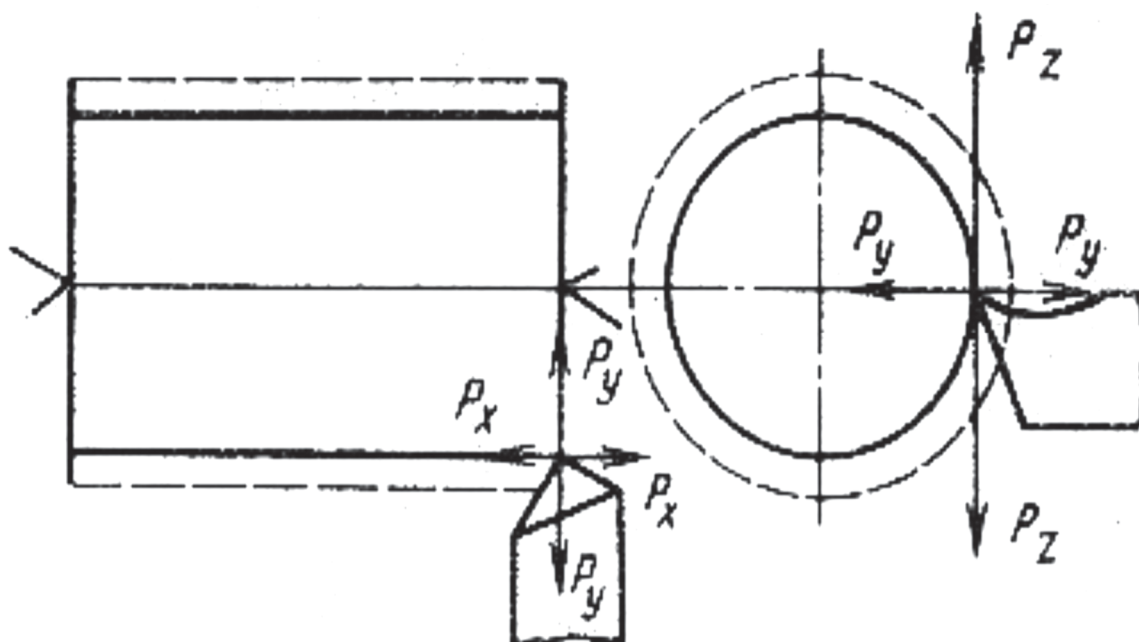


Рис. 4.9. Схема обработки заготовки на токарном станке

Понятие «жесткость» учитывает как упругие свойства системы, так и условия ее нагружения; при изменении условий нагружения жесткость также изменяется. Например, при обтачивании вала жесткость его при положении резца посередине будет отличаться от жесткости вала при положении резца у конца вала. В соответствии с этим и жесткость отдельных звеньев системы, отнесенная к вершине резца, будет также различной.

Расчеты жесткости технологической системы по жесткости отдельных ее звеньев, а также определение погрешностей обработки, связанных с упругими перемещениями этих звеньев, значительно упрощаются, если пользоваться понятием податливости.

Податливостью  $\omega$  (м/Н) технологической системы называют величину, обратную жесткости:

$$\omega = y / P_y.$$

Если приравнять деформации  $n$  звеньев системы  $(y_1, y_2, y_3, y_4 \dots y_n)$ , приведенные к точке и направлению, принятым при измерении жесткости, к деформации всей системы  $(y)$ , можно записать:

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n.$$

Тогда общее выражение для податливости будет иметь вид

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots + \omega_m.$$

Заменив значения податливости значениями жесткости, найдем, зависимость

$$1/j = 1/j_1 + 1/j_2 + 1/j_3 + \dots + 1/j_n.$$

Число звеньев технологической системы в различных случаях, может быть различно. Например, при токарной обработке в центрах обычно учитывают перемещения станка и обрабатываемой заготовки, считая перемещение резца пренебрежимо малым.

В этом случае система *станок – приспособление – инструмент – заготовка* сводится к системе *станок – заготовка*.

При растачивании перемещениями расточных оправок или бортштанг пренебрегать нельзя, деформации же обрабатываемой заготовки в этом случае

пренебрежимо малы. Поэтому в данном случае рассматривается система *станок – инструмент* и т. д.

Жесткость обрабатываемой заготовки с известным приближением можно определить по обычным формулам сопротивления материалов и теории упругости. Так, например, при обтачивании гладкого вала в центрах его можно рассматривать как балку, свободно лежащую на двух опорах. Рассчитав прогиб вала для этого случая при положении резца на расстоянии от передней бабки  $X$ , можно определить жесткость вала в отмеченном сечении (рис. 4.10).

Жесткость режущего инструмента имеет существенное значение при растачивании отверстий, особенно глубоких. Жесткость расточного режущего инструмента может быть также определена по формулам сопротивления материалов и теории упругости.

Жесткость специальных приспособлений определяют экспериментальным путем.

Для определения жесткости станков наибольшее распространение получили статические и динамические методы. В первом случае к узлу станка с помощью специальных приспособлений прикладывают нагрузку и наблюдают его деформации. Испытания проводят при неработающем станке. Во втором случае жесткость станков определяют в результате обработки заготовки резанием. К динамическим методам относится производственный метод, который основан на обработке поверхности с переменным припуском и некоторых расчетах. Разновидностью производственного метода является метод ступенчатого резания. При этом методе берут жесткую заготовку, деформациями которой можно пренебречь по сравнению с деформациями станка и инструмента. Обрабатывают два участка заготовки: один с большей  $t_1$ , а второй с меньшей  $t_2$  глубиной резания (рис. 4.11). Остальные условия обработки остаются неизменными. Разность  $t_1 - t_2$  называют погрешностью заготовки ( $\Delta_3$ ).



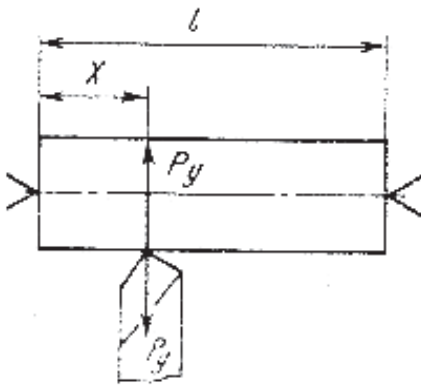


Рис. 4.10. Схема для расчета жесткости гладкого вала при его обработке в центрах токарного станка

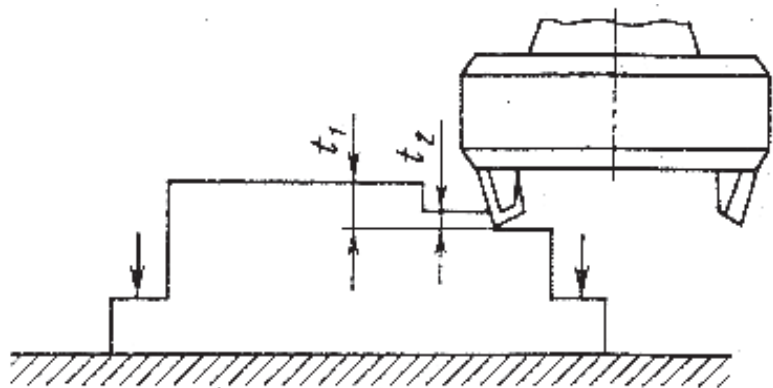


Рис. 4.11. Схема производственного метода определения жесткости станка

При обработке участка с большей глубиной резания прилагают большие силы резания, следовательно, будут и большие отжатия лезвия инструмента. Поэтому на обработанной поверхности получается уступ величиной  $\Delta_d = y_1 - y_2$ , который нетрудно определить измерением ( $y_1$  – отжатие на участке с глубиной резания  $t_1$ ;  $y_2$  – отжатие на участке с глубиной резания  $t_2$ ).

Отношение, показывающее, во сколько раз в результате обработки уменьшилась неточность заготовки, названо профессором А. П. Соколовским «уточнением» ( $\varepsilon$ ):

$$\varepsilon = \Delta_3 / \Delta_d. \quad (4.2)$$

Преобразовав формулу (4.1), можно определить жесткость станка следующим образом:

$$j_c = \lambda C_p S_0^x \varepsilon, \quad (4.3)$$

где  $\lambda = P_y / P_z$ ;  $C_p$  – коэффициент, характеризующий материал заготовки и зависящий от геометрических параметров инструмента и степени его затупления;  $S_0$  – подача, мм/об;  $x$  – показатель степени (показатель степени при глубине резания принят равным единице).

Имеются и другие разновидности производственного метода (по определению разности глубины резания, установленной по лимбу станка и измеренной после обработки заготовки; метод прямой и обратной подачи и др.).

Обозначив  $C = \lambda C_p S_0^x$  и  $C_1 = \lambda C_p S^x / j$ , а также учитывая (4.2) и (4.3), можно получить следующие формулы:

$$j = C\varepsilon; \quad (4.4)$$

$$\Delta_d = C_1 \Delta_3. \quad (4.5)$$

Из полученных зависимостей (4.1), (4.2), (4.4), (4.5) можно сделать вывод о том, что жесткость технологической системы является важным фактором в формировании погрешностей обработки и оказывает существенное влияние на повышение производительности труда.

Зная жесткость технологической системы и силу, можно определить погрешность обработки от упругих деформаций этой системы ( $\Delta_y$ ).

Для односторонней обработки  $\Delta y = y$ , двусторонней –  $\Delta y = 2y$ . Величина  $y$  определяется из зависимости (4.1):  $y = P_y / j = \lambda C_{p^q} S^x / j$ , где  $q$  – показатель степени.

Упругие перемещения технологической системы вызывают также погрешности формы детали как в поперечном, так и в осевом сечении.

Из формулы (4.5) видно, что погрешность заготовки как бы копируется на детали. Коэффициент  $C_1$  является коэффициентом переноса погрешности заготовки на готовую деталь. Его значение зависит главным образом от жесткости системы *станок – приспособление – инструмент – заготовка*, в частности жесткости станка и подачи при неизменных геометрических параметрах инструмента и обрабатываемого материала.

Анализируя конкретные производственные условия, необходимо стремиться к максимальному повышению жесткости звеньев системы *станок – приспособление – инструмент – заготовка*, а также выравнивать жесткость в различных сечениях и направлениях.

Вопросы образования погрешностей под действием упругих перемещений заготовки и элементов приспособлений, погрешностей неточности установки заготовки на станке были рассмотрены в главе 3. Возможно возникновение деформации заготовки под влиянием сил зажима.

**Погрешности установки заготовки на станке.** Погрешность установки  $\Delta_y$  определяется суммой погрешностей базирования  $\varepsilon_\delta$  и погрешностей закрепления  $\Delta_3$ .

Погрешность базирования возникает при несовпадении установочной базы с измерительной. Эта погрешность была рассмотрена ранее в главе 3.

Погрешность закрепления возникает из-за смещения заготовки зажимной силой, прилагаемой для фиксации ее положения. Погрешность закрепления возникает вследствие деформации отдельных звеньев цепи, через которые передается сила зажима: заготовка – установочные элементы приспособления – корпус приспособления. Погрешность закрепления равна разности между наибольшей и наименьшей величинами смещения измерительной базы по направлению выполняемого размера.

При обработке плоских поверхностей вектор погрешности базирования и вектор погрешности закрепления действуют в одном направлении. В этом случае погрешность установки равна сумме погрешностей базирования и закрепления:

$$\Delta_y = \varepsilon_\delta + \Delta_3.$$

При обработке поверхностей тел вращения векторы погрешностей базирования и закрепления расположены под разными углами. В данном случае погрешности установки можно принять по наиболее вероятному значению, равному корню квадратному из суммы квадратов погрешностей базирования и закрепления:

$$\Delta_y = \sqrt{\varepsilon_\delta^2 + \Delta_3^2}.$$

Погрешность базирования равна нулю ( $\varepsilon_\delta = 0$ ) при совмещении установочной и измерительной баз, поэтому следует, если это возможно, принимать в качестве установочной базы поверхность, от которой производят измерение. Погрешность базирования отсутствует при обработке деталей методом пробных проходов ( $\varepsilon_\delta = 0$ ).

К погрешностям закрепления можно отнести погрешности, возникающие при закреплении тонкостенных втулок, колец, гильз в патронах для обработки отверстий. Так, при закреплении в трехкулачковом патроне тонкостенное кольцо под действием сил крепления  $Q$  деформируется, принимая форму, показанную на рис. 4.12, *а*. После растачивания в патроне отверстие приобрело правильную форму окружности (рис. 4.12, *б*). После снятия детали из патрона наружная поверхность ее принимает первоначальную форму окружности, а форма расточенного отверстия искажается (рис. 4.12, *в*). Погрешность этой поверхности представляет собой разность диаметров описанной и вписанной окружностей:

$$\Delta_3 = d_{\max} - d_{\min}.$$

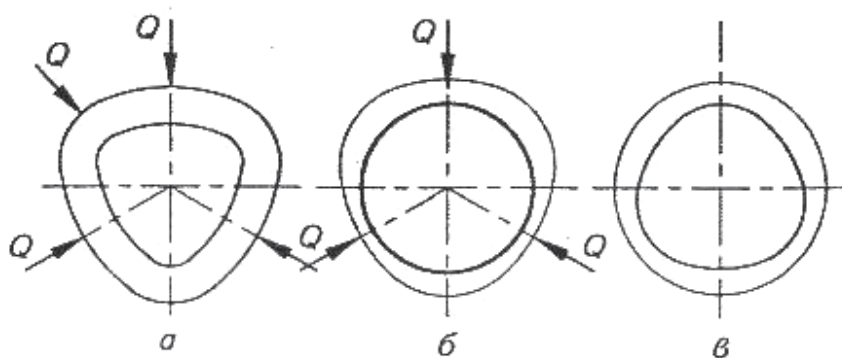


Рис. 4.12.Схемы деформации кольца при закреплении в трехкулачковом патроне

**Погрешности настройки станка и режущего инструмента.** Инструмент в процессе работы изнашивается, что вызывает необходимость его замены на заточенный и наладки станка на требуемый размер детали. За период стойкости инструмента станок приходится подналаживать путем регулировки положения резца относительно заготовки для компенсации его размерного износа. Задача наладки и подналадки состоит в том, чтобы обеспечить выполнение размеров обрабатываемых деталей в пределах полей допусков.

В условиях массового и серийного производства существует два метода настройки станков: по пробным заготовкам и по эталонам.

При **настройке станка по пробным заготовкам** установку режущего инструмента производят последовательным приближением к данному настроечному размеру, обрабатывая пробные заготовки, контролируя их

размеры, и на основе контроля определяют величину и направление необходимого смещения инструмента. Настройка по пробным заготовкам обеспечивает необходимую точность, но трудоемка. На токарных автоматах и многоинструментальных станках на настройку затрачивается примерно 20 % общего фонда времени. Недостатком метода является и то, что часть пробных заготовок идет в брак, что неприемлемо при обработке дорогих деталей.

При **настройке станка по эталонам** режущий инструмент устанавливают в требуемое положение в нерабочем (выключенном) состоянии станка по эталону (готовой детали) или вне станка (при использовании съемных суппортов, расточных скалок, револьверных головок и других устройств). Настройка по эталонам менее трудоемка, чем по пробным заготовкам, дает стабильную точность и исключает расход (в брак) пробных заготовок. Ее можно осуществлять при наличии сменных инструментальных блоков, суппортов и револьверных головок.

Установку режущих инструментов по эталону применяют при наладке фрезерных и токарных станков. Инструмент устанавливают на размер при неработающем станке. На фрезерных станках фрезу подводят к эталону, закрепленному на корпусе приспособления, с минимальным зазором, который измеряют щупом. Погрешность установки фрезы по щупу ориентировочно оценивается в пределах 15...45 мкм. При настройке токарных многорезцовых станков эталон в виде обработанной заготовки устанавливают в центрах станка. Положение резцов в радиальном и осевом направлениях определяют доведением их режущих кромок до соприкосновения с соответствующими поверхностями эталона.

**Погрешность настройки станка  $\Pi$**  представляет собой разность между максимальными и минимальными настроечными размерами.

Погрешность настройки по эталону

$$\Pi = K \sqrt{\Delta_{\text{изг.эт}}^2 + \Delta_{\text{уст.и}}^2},$$

где  $\Delta_{\text{изг.эт}}$  – погрешность изготовления эталона, может составлять 10...20 мкм;  $\Delta_{\text{уст.и}}$  – погрешность установки инструмента по щупу или

полоскам бумаги, равна 20–50 мкм. При  $K = 1,2$  погрешность  $\Delta_{\text{изм}} = 20\text{--}60$  мкм. Большие величины можно отнести к настройке станков обычной точности, а меньшие – к повышенной.

При настройке по пробным заготовкам

$$\Pi = 2K\sqrt{\Delta_{\text{изм}}^2 + \Delta_{\text{рег}}^2},$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий отклонение закона распределения погрешностей измерения и регулирования от нормального закона,  $K = 1\text{--}1,2$ ;  $\Delta_{\text{изм}}$  – погрешность измерения пробных заготовок;  $\Delta_{\text{рег}}$  – погрешность регулирования положения инструмента.

В приближенных технологических расчетах принимают  $\Pi \cong 0,1T$ , где  $T$  – допуск на выдерживаемый размер.

При автоматической обработке требуется предварительная настройка (установка) режущего инструмента относительно заготовки в такое положение, при котором обеспечивается размер обрабатываемой поверхности в соответствии с требованиями чертежа. Это положение режущего инструмента определяется установочным размером. Настройка инструмента в статическом состоянии системы СПИД должна учесть все явления, которые происходят в процессе обработки (упругие деформации системы, температурные изменения и др.). Установочный размер не может быть выдержан абсолютно точно. Он будет колебаться в определенных пределах, которые и установят погрешность настройки режущего инструмента.

Определение момента касания режущей кромки инструмента и эталона или щупа требует навыка наладчика. Момент касания можно установить с помощью полоски тонкой бумаги. Подводя инструмент к эталону, настройщик перемещает полоску по поверхности эталона. Затруднение в перемещении или прекращение перемещения означает момент касания, так как бумага прижимается инструментом к эталону.

Настройку инструментов производят также по жестким упорам или упорам, снабженным индикаторными устройствами. Такая система действует,

например, на токарно-револьверных станках, когда инструмент периодически ставят в исходное положение, а при обработке каждой следующей заготовки устанавливают на размер.

Вне станка инструмент настраивают с помощью специальных приспособлений, на которые его устанавливают. Распространенная конструкция приспособления для настройки токарных резцов приведена на рис. 4.13, *а*. Резец 4 с режущей пластинкой упирается в пластинку 5 приспособления. Необходимую длину  $L$  устанавливают с помощью винта 3. Индикатор 1, ножка которого связана с винтом через вставку 2, служит для регулировки винта. После регулировки переточенного резца винт 3 законтривают. Расточные резцы (рис. 4.13, *б*) настраивают в аналогичных приспособлениях по двум координатам с выдерживанием размеров  $L$  и  $H$ . Они могут иметь один или два индикатора. Точность настройки лежит в пределах 0,015...0,02 мм.

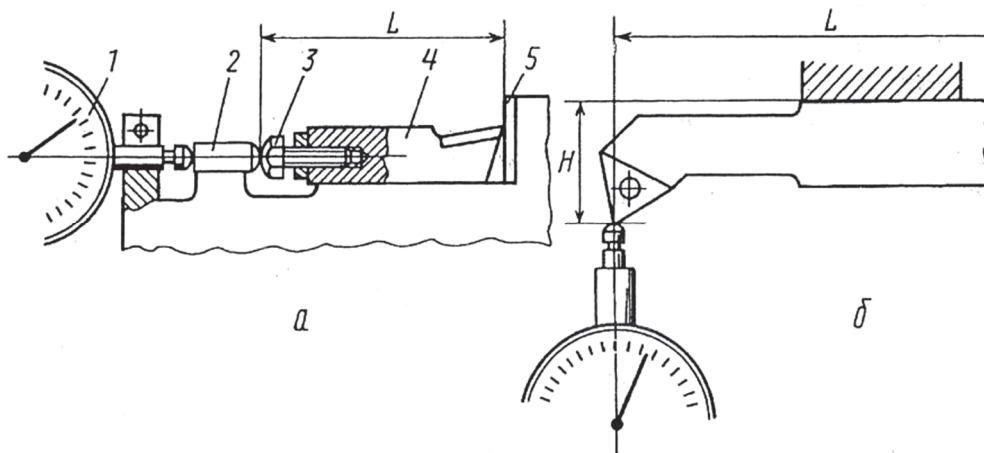


Рис. 4.13. Приспособления для настройки резцов

Дисковые фрезы настраивают вне станка с помощью мерных колец, расположенных между торцевыми поверхностями. Для более тонкой настройки набора фрез целесообразно использовать регулировочные кольца.

Осевые инструменты (сверла, зенкеры и др.) настраивают в одно- и многоместных приспособлениях, самое простое из которых приведено

на рис. 4.14. Сверло 3 должно быть связано с переходной втулкой; положение втулки определяется гайками 2. Хвостовик втулки и, следовательно, сверла устанавливают в вертикальном положении в приспособлении 1. Вращением гайки 2 перемещают сверло так, чтобы его перемычка коснулась торца винта 4. После установки сверла вместе с переходной втулкой вторая гайка 2 закручивает конструкцию. После поворота верхней части приспособления вокруг оси  $00'$  сверло удаляют из приспособления и устанавливают на станок.

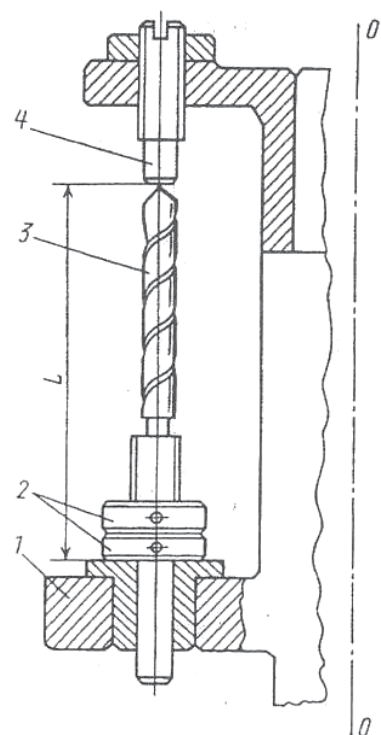


Рис. 4.14. Приспособление для настройки сверл

**Внутренние напряжения.** Значительные неуравновешенные внутренние напряжения возникают в крупных отливках, крупных поковках и штамповках, сварных заготовках, при термической обработке. Вследствие их действия происходят деформации заготовки или готовой детали с одновременным уравниванием внутренних напряжений. Время уравнивания напряжений может достигать года. Механическая обработка крупных заготовок, особенно со снятием больших припусков, приводит к нарушению уравниваемости напряжений и деформации заготовки. В качестве основной меры борьбы с внутренними напряжениями в крупных отливках из чугуна используют естественное старение и термическую обработку (искусственное старение). Старение производят после предварительной обработки (обдирки) отливки. Естественное старение заключается в хранении (вылеживании) заготовок на воздухе в течение 6...12 мес. Недостаток способа – длительность процесса и неполное снятие напряжений.

Термическая обработка (искусственное старение) чугунных заготовок состоит в медленном нагреве до 500...600 °С, выдержке при этой температуре 1...6 ч, последующем медленном охлаждении до 150...200 °С и



далее на открытом воздухе. По сравнению с естественным старением процесс менее длителен и дает лучшие результаты.

Для снятия остаточных напряжений в поковках и штамповках применяют отжиг, в сварных изделиях – высокотемпературный отпуск (600...650 °С).

Для уменьшения остаточных напряжений при проведении термической обработки следует отдавать предпочтение нагреву ТВЧ. Закалку предпочтительнее проводить всей детали, а не ее части; после объемной закалки обязателен отпуск.

### **Размер деталей и погрешности из-за неточности их измерений**

Суммарная погрешность обрабатываемой детали зависит от ее размеров. Для размера  $d$  (диаметр, длина, толщина) погрешность

$$\Delta d = C\sqrt[3]{d},$$

где  $C$  – коэффициент, характеризующий точность обработки.

При точности измеряемого размера в пределах 5...8-го качества погрешность измерительных приборов и средств измерения находится в пределах 1/3...1/4 поля допуска, при точности 9...16-го качества точность измерения составляет 1/4...1/6 поля допуска.

**Основные причины отклонений деталей от правильной геометрической формы при токарной обработке.** Овальность – биение шпинделя, различная твердость обрабатываемой заготовки.

Конусообразность – непараллельность продольных направляющих суппорта, смещение центра задней бабки, прогиб детали при консольном креплении в патроне, износ резца, различная жесткость передней и задней бабки.

Бочкообразность – недостаточная жесткость детали.

Отклонение от перпендикулярности торца – неперпендикулярность направляющих поперечного суппорта, различная твердость детали.

**Понятие о технологической наследственности.** Под технологической наследственностью понимают перенесение на готовую деталь свойств (механических, физико-химических), погрешностей обрабатываемой заготовки, сформировавшихся на отдельных операциях изготовления детали. Технологическая наследственность зависит прежде всего от вида и режимов чистовой обработки, но в некоторых случаях наследуются свойства, которые формируются при черновой обработке. Проявление технологической наследственности может оказывать на эксплуатационные свойства детали как положительное, так и отрицательное влияние.

Износостойкость деталей зависит от вида обработки, режима резания или даже геометрии режущего инструмента. Так, если износ плоских образцов из чугуна, обработанных строганием, принять за 100 %, то после фрезерования он составит 62...71 %, после шлифования – 55...58 %, после накатки поверхности шариками – только 24...29 % (т. е. уменьшится в последнем случае в 3 – 4 раза).

Переход от метода попутного фрезерования к встречному с неизменным режимом фрезерования повышает предел усталостной прочности нержавеющей стали 2Х13 на 8...10 %.

Применение резцов с отрицательными передними углами ( $\gamma$  до  $-50^\circ$ ) повышает усталостную прочность высокопрочной стали на 36...63 %.

Во всех примерах уменьшение износа и повышение усталостной прочности деталей происходят прежде всего из-за упрочнения их поверхности режущими или упрочняющими инструментами.

Проявлением технологической наследственности является то, что при обработке «полной» заготовки (отливки, штамповки) получаем более «полную» деталь, при обработке «тощей» заготовки получим более «тощую» деталь (все это должно быть в пределах доступа).

Одним из перспективных направлений развития наук «Обработка металлов резанием» и «Технология машиностроения» является изучение вопросов резания металлов в совокупности с изменением их физико-механических характеристик – увязка режимов обработки с режимами упрочнения металлов.

## 4.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Как уже отмечалось, к случайным погрешностям относятся погрешности, обусловленные изменением величины припуска, колебаниями механических свойств материала, разной силой зажима заготовки при настройке станка, которые для конкретной детали невозможно определить расчетом.

Для оценки точности обработки деталей применяют методы, основанные на математической статистике [8] построения кривых распределения размеров и точечных диаграмм размеров.

**Кривые распределения размеров.** Способ построения кривых распределения размеров применим при производстве большого числа одинаковых деталей, обрабатываемых на предварительно настроенных станках или методом пробных рабочих ходов (пробных стружек). Данный способ позволяет оценить точность обработки.

Кривые распределения размеров строят следующим образом. Обрабатывают партии деталей в одинаковых условиях. Затем детали измеряют по одному важному размеру, определяющему точность. При этом оказывается, что, несмотря на одинаковые условия обработки, размеры отличаются друг от друга, хотя в отдельных случаях и совпадают. Разность максимального и минимального размеров, полученных для партии деталей, называют **полем рассеивания размеров или размахом распределения**. Поле рассеивания размеров характеризует точность обработки: чем меньше поле рассеивания, тем точнее принятый метод и условия обработки.

Точность обработки характеризуется также **законом распределения размеров** (кривая распределения).

Для построения кривых распределения измеряют данный размер на определенном числе деталей  $n$  (50...250). Совокупность измерений деталей разбивают на ряд групп размеров с одинаковыми интервалами. Число групп размеров  $K$  определяют по приближенной формуле

$$K \cong \sqrt{n}.$$

Полученные данные представляют в виде графика, называемого **гистограммой распределения**, на котором по оси абсцисс откладывают размеры групп, а по оси ординат – число деталей  $m$ , размеры которых находятся в **пределах соответствующих групп**. После нанесения на график точек получают ломаную линию, называемую **полигоном распределения**. Вместо абсолютного числа деталей  $m$  – **абсолютной частоты** в данном интервале размеров – по оси ординат можно откладывать отношение этого числа деталей  $m$  к общему числу деталей  $n$  в партии; отношение  $m/n$  называют **относительной частотой** или **частотой**.

При обработке деталей на металлорежущих станках кривая распределения часто близка к кривой нормального распределения (закон Гаусса) (рис. 4.15). Вместе с тем возможны и другие законы распределения событий (размеров): закон равной вероятности, треугольника Симпсона и другие.

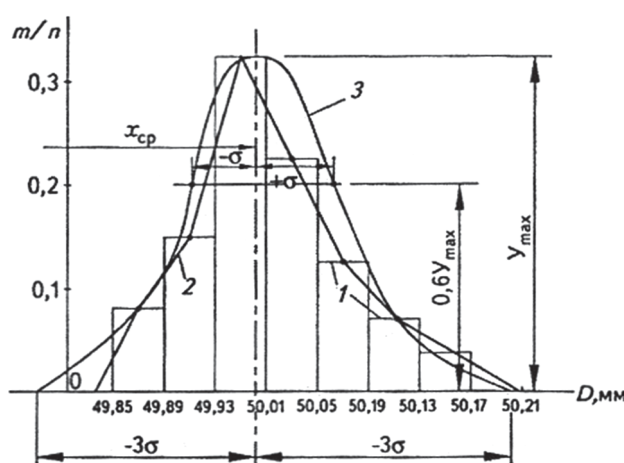


Рис. 4.15. Пример построения кривой нормального распределения (Гаусса):  
1 – гистограмма распределения; 2 – полигон распределения; 3 – теоретическая кривая нормального распределения

Кривая нормального распределения выражается уравнением Гаусса

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_{cp})^2}{2\sigma^2}},$$

где  $x$  и  $y$  – текущие абсцисса и ордината кривой;  $x_{cp}$  – среднее арифметическое значение всех измерений размеров;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x - x_{cp})^2 f_j}{n}},$$

где  $f_j$  – частота наблюдаемых значений  $x$ ;  $n$  – число всех наблюдений (размеров).

Среднее значение размера

$$x_{cp} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

где  $x_i$  – значение текущего измерения.

Величина  $x_{cp}$  соответствует максимуму кривой  $y_{\max}$ . В этом случае  $x = x_{cp}$ .

$$y_{\max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cong \frac{0,4}{\sigma}.$$

Точки перегиба кривой Гаусса находятся на расстоянии  $+\sigma$  и  $-\sigma$  от  $x_{cp}$  (оси симметрии кривой). Если  $x_{cp} = 0$ ,  $x = \delta$ , то

$$y_{\text{пер}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\sigma^2}{2\sigma^2}} = \frac{y_{\max}}{\sqrt{e}} = 0,6 y_{\max} = \frac{0,24}{\sigma}.$$

Ветви кривой Гаусса уходят в бесконечность, асимптотически приближаясь к оси  $X$ .

Приближенное построение теоретической кривой Гаусса возможно по пяти точкам, координаты которых даны в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Координаты точек для приближенного построения кривой Гаусса

Номер точки	$x_i$	$y_i$
1	$x_1 = -3\sigma$	$y_1 = 0$
2	$x_2 = -\sigma$	$y_2 = \frac{0,24}{\sigma} = 0,6 y_{\max}$
3	$x_3 = 0$	$y_3 = y_{\max} = \frac{0,4}{\sigma}$
4	$x_4 = \sigma$	$y_4 = \frac{0,24}{\sigma} = 0,6 y_{\max}$
5	$x_5 = 3\sigma$	$y_5 = 0$

Из уравнения кривой распределения Гаусса следует, что форма кривой определяется величиной среднего квадратичного отклонения  $\delta$ . При уменьшении величины  $\delta$  кривая менее растянута, что соответствует меньшему рассеиванию размеров.

Большим значениям величины  $\delta$  соответствует большее рассеивание размеров – кривая более растянута. На рис. 4.16 приведены кривые нормального распределения при  $\sigma = 1/2$ ,  $\sigma = 1$ ,  $\sigma = 2$ .

При помощи кривой распределения можно определить вероятное число годных деталей и вероятное число бракованных деталей с размерами, выходящими за поле допуска.

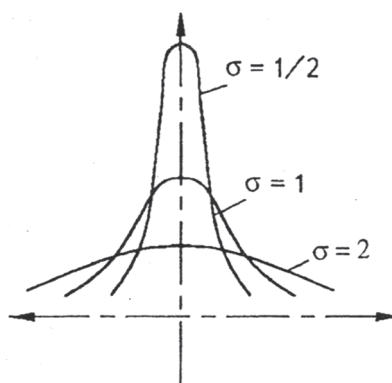


Рис. 4.16. Кривые нормального распределения при различных значениях среднего квадратичного отклонения  $\sigma$

Если отложить по оси  $X$  (по обе стороны от нуля) величину  $\pm 3\sigma$ , то оказывается, что в данном интервале содержится 99,73 % (почти 100 %) всех величин (отклонений), относящихся к данной кривой (см. рис. 4.15). Участками кривой Гаусса  $x > 3\sigma$  и  $x < -3\sigma$  можно пренебречь. На основании этого поле допуска на размер должно быть равно или больше  $6\sigma$ , т. е.  $T \geq 6\sigma$ . При расширении поля допуска сверх  $6\sigma$  вероятность появления брака снижается незначительно.

Вследствие действия систематических причин (например, подналадка станка) кривая распределения может быть двухвершинной (рис. 4.17). В этом случае поле рассеивания увеличивается на величину  $\varepsilon$  и допуск на размер  $T$  (без опасности появления брака) должен быть

$$T \geq 6\sigma + \varepsilon$$

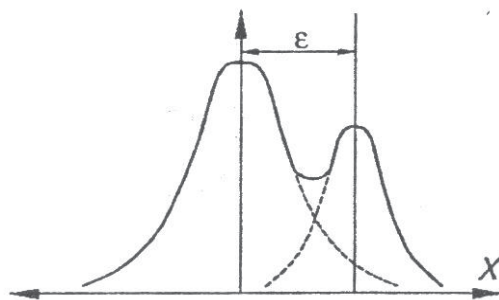


Рис. 4.17. Двухвершинная кривая распределения

**Определение вероятности возникновения брака при обработке.** Брак возникает, если допуск на обработку меньше поля рассеивания размеров. Предположим, что поле  $T$  установлено двумя размерами  $x_1$  и  $x_2$  границ этого допуска от среднего размера (рис. 4.18). Вероятное количество годных деталей определяется в этом случае отношением

$$\frac{F_1 + F_2}{F},$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – площади между участками кривых Гаусса и осью абсцисс при размерах  $x_1$  и  $x_2$ ;  $F$  – площадь между всей кривой Гаусса и осью абсцисс.

При значительном расширении поля допуска ( $x_1 = x_2 = 3\sigma$ ) отношение площадей приближается к единице, так как  $F_1 + F_2 = F$ . В этом случае считают, что вероятность данного достоверного события равна единице.

Определим площади заштрихованных участков  $F_1$  и  $F_2$  при симметричном распределении кривой распределения относительно оси ординат:

$$F_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_1} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx,$$

$$F_2 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Эти интегралы представляют в виде функции  $\Phi(z)$ , где  $z = \frac{x}{\sigma}$ .

$$F_1 = 0,5\Phi(z_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{z_1} e^{-\frac{z^2}{2}} dz ,$$

$$F_2 = 0,5\Phi(z_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{z_2} e^{-\frac{z^2}{2}} dz .$$

Величины  $F_1$  и  $F_2$  меньше единицы. Они выражают долю от всей площади между кривой Гаусса и осью абсцисс. Площадь между всей кривой Гаусса и осью абсцисс при этом принимают за единицу.

Значения функции  $\Phi(z)$  через десятую долю аргумента приведены в табл. 4.2. При  $z = \pm 3$  функция  $\Phi(z) = 0,9973$ . Это означает, что из всей партии обработанных деталей только 0,27 % выходят за пределы допуска  $T = 6\sigma$ .

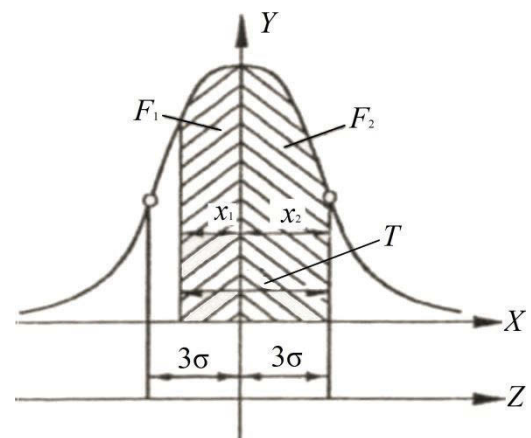


Рис. 4.18. Кривая нормального распределения с полем допуска  $T < 6\sigma$

Ниже приведены два примера решения практических задач по анализу точности обработки при помощи кривых распределения размеров.

Таблица 4.2

Значение функции  $\Phi(z)$

$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$
0,0	0,0000	1,2	0,7699	2,4	0,9836
0,1	0,0797	1,3	0,8064	2,5	0,9876
0,2	0,1585	1,4	0,8385	2,6	0,9907
0,3	0,2358	1,5	0,8664	2,7	0,9931
0,4	0,3108	1,6	0,8904	2,8	0,9949
0,5	0,3829	1,7	0,9109	2,9	0,9963
0,6	0,4515	1,8	0,9281	3,0	0,9973
0,7	0,5161	1,9	0,9426	3,1	0,99806
0,8	0,5763	2,0	0,9545	3,2	0,99862
0,9	0,6319	2,1	0,9643	3,3	0,99903
1,0	0,6827	2,2	0,9722	3,4	0,99933
1,1	0,7287	2,3	0,9786	3,5	0,99953



**Пример 1.** Определить вероятность получения брака деталей, если среднее отклонение метода обработки  $\sigma = 0,02$  мм, а допуск на обработку  $T = 0,08$  мм. Границы поля допуска, показанные на рис. 4.18, расположены на расстоянии  $x_1 = 0,02$  мм и  $x_2 = 0,06$  мм от центра группирования.

**Решение.** Найдем значения  $z_1$  и  $z_2$ :

$$z_1 = \frac{x_1}{\sigma} = 0,02 : 0,02 = 1;$$

$$z_2 = \frac{x_2}{\sigma} = 0,06 : 0,02 = 3.$$

По табл. 4.2:

$$F_1' = 0,5\Phi(z_1) = 0,3413;$$

$$F_2' = 0,5\Phi(z_2) = 0,4986.$$

Вероятность получения брака:

$$W = 1 - (F_1' + F_2') = 1 - (0,3413 + 0,4986) = 0,16.$$

**Пример 2.** На сколько уменьшится вероятность получения брака по условиям предыдущей задачи, если центр группирования кривой распределения совместить с серединой поля допуска путем настройки технологической системы?

**Решение.** В данном случае  $z_1 = z_2 = z = 0,4 : 0,02 = 2$ .

По табл. 4.2  $F_1' = F_2' = 0,5\Phi(z) = 0,4772$ .

Вероятность получения брака:

$$W = 1 - (F_1' + F_2') = 1 - (0,4772 + 0,4772) = 0,046.$$

По сравнению с предыдущим случаем вероятность получения брака уменьшилась на 11,4 %.

Метод построения кривых распределения размеров сравнительно прост, надежен и поэтому широко применяется для оценки точности размеров деталей при разных методах их обработки. К недостаткам метода следует отнести то, что он в основном дает только суммарную оценку точности обработки и не вскрывает механизм действия разных факторов. Кроме того, метод кривых

распределения размеров не учитывает их изменение в процессе обработки при переходе от одной детали к другой, так как вся совокупность деталей рассматривается безотносительно порядка их обработки.

**Другие законы распределения.** Кроме закона Гаусса существуют и другие законы распределения: закон равной вероятности (рис. 4.19, б), закон треугольника (закон Симпсона, рис. 4.19, в), закон параболы (рис. 4.19, г), сочетание двух законов (Гаусса и равной вероятности), двухвершинная кривая Гаусса и др.

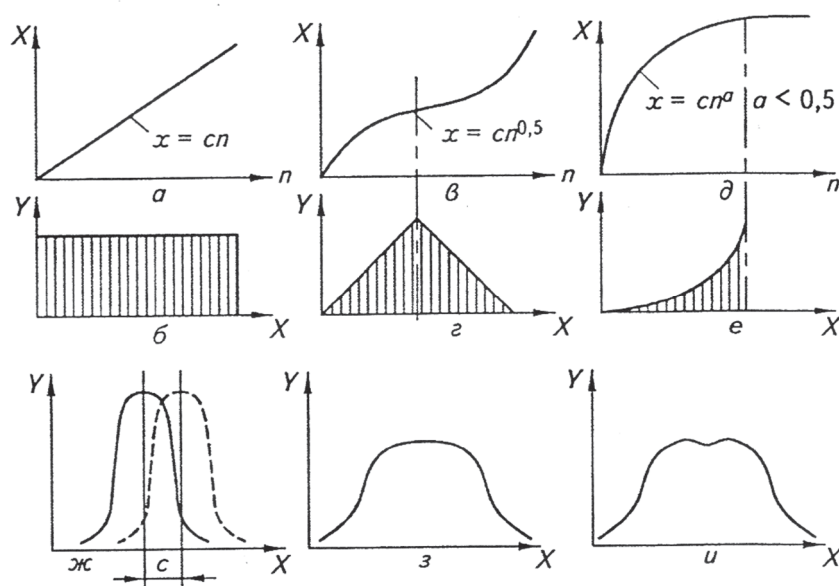


Рис. 4.19. Разновидности кривых распределения: а–и – варианты

Распределение размеров по закону равной вероятности возникает в том случае, когда увеличение размеров деталей происходит из-за размерного износа инструмента (рис. 4.19, а), т. е. размер деталей  $x = cn$ , где  $c$  – коэффициент пропорциональности;  $n$  – число обработанных деталей.

Если на выполняемый размер закономерно изменяющаяся погрешность влияет вначале замедленно, а затем ускоренно (рис. 4.19, в), то действует закон треугольника (закон Симпсона). Такой закон может быть при совместном действии размерного износа режущего инструмента с сильной фазой начального износа и увеличения силы резания в результате его значительного затупления.

Параболический закон распределения получается в результате тепловых деформаций технологической системы (рис. 4.19, д) от числа обработанных деталей (времени обработки). Кривая распределения размеров приведена на рис. 4.19, е.

Сочетание кривой Гаусса и кривой равной вероятности показано на рис. 4.19, з. Это случай, когда на точность обработки влияет износ инструмента.

Двухвершинная кривая распределения (рис. 4.19, ж, и) получается в случае, если партию деталей обрабатывали при двух различных настройках станка.

**Метод точечных диаграмм размеров.** Этот метод дает возможность анализировать точность деталей с учетом последовательности их обработки. Для построения точечной диаграммы по оси абсцисс откладывают номера деталей в последовательности их обработки, а по оси ординат – их размеры, полученные после обработки (рис. 4.20). Для уменьшения длины диаграммы по оси абсцисс вместо номеров деталей откладывают номера групп деталей (например, группа из четырех или пяти деталей), а по оси ординат – размеры всех деталей или средние арифметические значения размеров групп деталей.

Точечные диаграммы позволяют оценить изменение размеров деталей в процессе обработки при переходе от одной детали к другой, т. е. оценить влияние закономерно изменяющихся систематических погрешностей (прежде всего влияние износа режущего инструмента) на точность обработки. В качестве недостатка метода можно отметить, что при наличии нескольких закономерно изменяющихся погрешностей их влияние оценивается суммарно, а не отдельно.

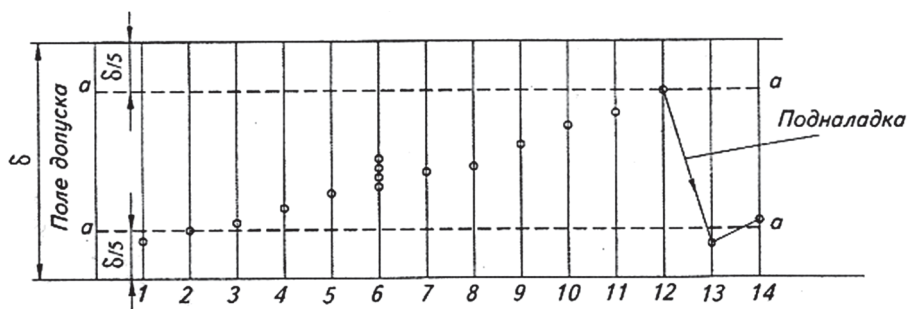


Рис. 4.20. Точечная диаграмма

Метод точечных диаграмм используют совместно со статистическим методом контроля продукции, что ведет к уменьшению числа контролеров и снижению брака. При статистическом методе контроля контролируется не вся партия изготовленных деталей (после обработки всей партии), а выборочно (5...10 % деталей) в процессе обработки на станке. Для регистрации результатов контроля применяют контрольную диаграмму, на которой в увеличенном масштабе нанесены поле допуска и параллельные линии  $aa$  и  $aa$ , ограничивающие поле допуска примерно по 20 % с каждой стороны. При достижении размера детали (вала), соответствующего контрольной линии  $aa$ , подналаживают станок, смещая инструмент в направлении детали. Обычно настроечный размер при точении по наружному диаметру бывает в нижней части допуска, чтобы увеличить продолжительность работы без подналадки станка вследствие износа резца. Таких подналадок может быть одна-две, после чего меняют затупленный резец на острый.

*Суммарная погрешность обработки.* Погрешности суммируют в зависимости от их вида (систематические или случайные) алгебраически (с учетом знака), арифметически (без учета знака) и по правилу квадратного корня.

Систематические погрешности суммируют алгебраически, поскольку можно определить их величину и направление. В отдельных случаях систематические погрешности могут взаимно погашать друг друга. Так, температурные деформации резца могут быть частично компенсированы размерным износом резца (в радиальном направлении).

Систематические и случайные погрешности суммируют арифметически, т. е. полагая, что эти погрешности имеют одинаковый знак. Это соответствует случаю максимально возможной величины суммарной ошибки.

Независимые случайные ошибки при симметричном законе распределения определяют по правилу квадратного корня

$$\Delta = \sqrt{(k_1\Delta_1)^2 + (k_2\Delta_2)^2 + \dots + (k_m\Delta_m)^2},$$

где  $\Delta$  – суммарная погрешность;  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_m$  – составляющие погрешности;  $k_1, k_2, \dots, k_m$  – коэффициенты, зависящие от вида кривых распределения отдельных погрешностей.

Когда отдельные погрешности подчиняются одному закону распределения,

$$\Delta = k\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_m^2}.$$

В общем случае величина  $k = 1,0 \dots 1,73$ . При распределении погрешностей по нормальному закону (по кривой Гаусса)  $k = 1$ . При анализе точности обработки на настроенных станках рекомендуется применять  $k = 1,2$  [1].

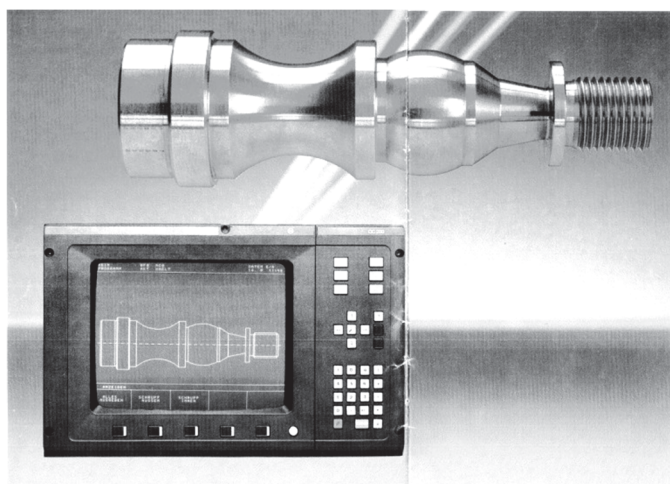
#### 4.3. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Заданную точность обработки обеспечивают разными способами в зависимости от условий производства. В единичном производстве применяют **способ пробных ходов и промеров**, при массовом производстве – **способ автоматического получения размеров**. В серийном производстве применяют оба способа.

При способе пробных ходов станочник подводит режущий инструмент к заготовке и на небольшой длине снимает пробную стружку. Измерив обработанный участок детали и сравнив полученный размер с требуемым, станочник при необходимости корректирует глубину резания. Число пробных ходов (корректировок) инструмента зависит от квалификации станочника и требуемой точности детали. Только убедившись, что полученный размер соответствует размеру по чертежу детали, станочник обрабатывает всю поверхность детали. При этом способе точность обработки и время её достижения зависят от квалификации станочника.

Современное мировое развитие металлорежущего оборудования позволяет перед началом обработки произвести имитацию процесса, тем самым вскрыть ошибки настройки и убедиться в точности выполнения размерных параметров детали. Современное станочное оборудование объединяет в себе числовое программное управление (ЧПУ), программируемый контроллер (ПК)

Перед нами экран дисплея (рис. 4.21). Оператор-станочник, используя чертеж детали (рис. 4.22), наносит общий контур детали на рабочий стол дисплея и делит его на геометрические элементы: цилиндры, конусы, сферы, бочкообразность, канавки, выточки, фаски, закругления, обработка контура и т. д. Ввод осуществляется в диалоге с оператором. Типовые канавки, выточки можно включить в контур простым нажатием клавиши. Все вводимые контуры запрограммированы и видны на экране.



Technical drawing of a mechanical part, showing a cross-section and a detail view.

**Main Drawing Dimensions:**

- Overall length: 210
- Section lengths: 190, 175, 110, 35, 142.5, 120, 92, 10, 20, 40
- Diameters:  $\varnothing 63$ ,  $\varnothing 56$ ,  $\varnothing 35$ ,  $\varnothing 37$ ,  $\varnothing 28$ ,  $\varnothing 20$ ,  $\varnothing 26$ ,  $M 30 \times 3$ ,  $\varnothing 42$ ,  $\varnothing 50.5$
- Chamfers:  $1 \times 45^\circ$ ,  $1 \times 45^\circ$ ,  $1 \times 65^\circ$ ,  $2 \times 45^\circ$
- Keyway:  $R35$
- Central Bore: Zentrierbohrung A 3,15 x 6,7 DIN 332

**Detail View Dimensions:**

- Radius:  $R0.6$
- Chamfer:  $15^\circ$

**Table:**

Material		Gr. für Lager	Material	Gr. für Lager
Material	Gr. für Lager	Material	Gr. für Lager	Material
Gr. für Lager	Gr. für Lager	Gr. für Lager	Gr. für Lager	Gr. für Lager

Einzelheit: X  
M 5:1

87

Предложения для выбора этапов обработки выдвигаются посредством диалоговых клавиш: позиционирование, черновая обработка продольно-поперечная, точение канавок радиально-торцевых, расточка, нарезание резьбы метчиком, нарезание резьбы резцом, чистовая обработка и т. д. При задании припуска оператор может выбрать между постоянным припуском на чистовую обработку по всему контуру, отдельным припуском на  $X$  и  $Z$ , припуском на чистовую обработку по сегментам. УЧПУ на основе введенных значений рассчитывает распределение проходов и рабочие циклы для обработки резанием. Во время обработки УЧПУ предлагает автоматически в диалоговом режиме выбор инструментов. В инструментальном файле могут быть накоплены до 32 инструментов с их параметрами обработки.

Производится имитация процесса обработки (рис. 4.23). Последовательность резания и траекторию движения режущего инструмента можно наблюдать на экране дисплея. Тестовая графика заменяет пробный прогон. Посредством графического моделирования оператор выполняет непосредственный визуальный контроль над всеми шагами при резании. Видеографика изображает контур заготовки, контур готовой детали, а также распределение проходов. Представление разными цветами обеспечивает особую наглядность последовательности обработки. Таким образом, ошибки практически исключаются.

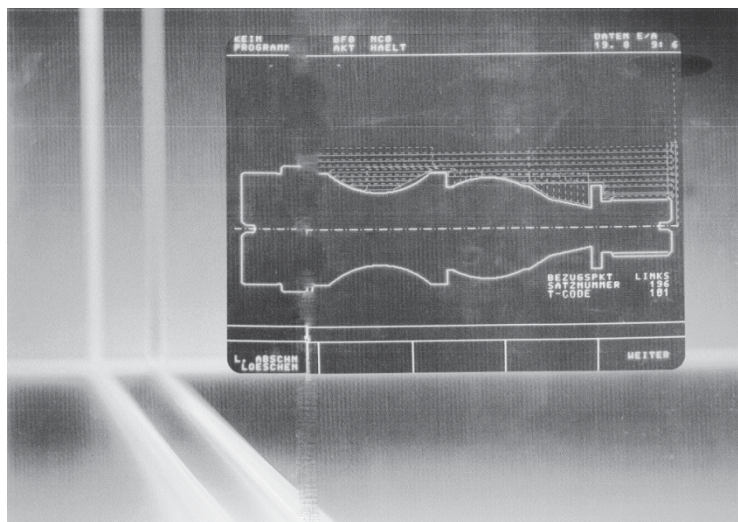


Рис. 4.23. Имитация процесса обработки



После проверки всех размерных параметров имитационного изготовления детали программа обработки засылается в УЧПУ и производится процесс реального получения детали (рис. 4.24).

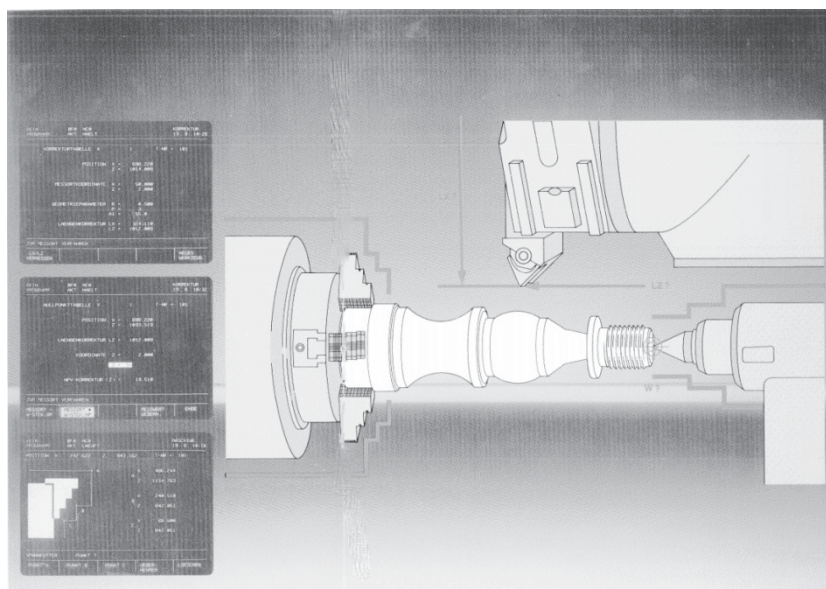


Рис. 4.24. Процесс реального получения детали

Интеграция управления измерительными процессами гарантирует точность измерения заготовки, контроль режущего инструмента, юстировку измерительных щупов-датчиков (рис. 4.25).

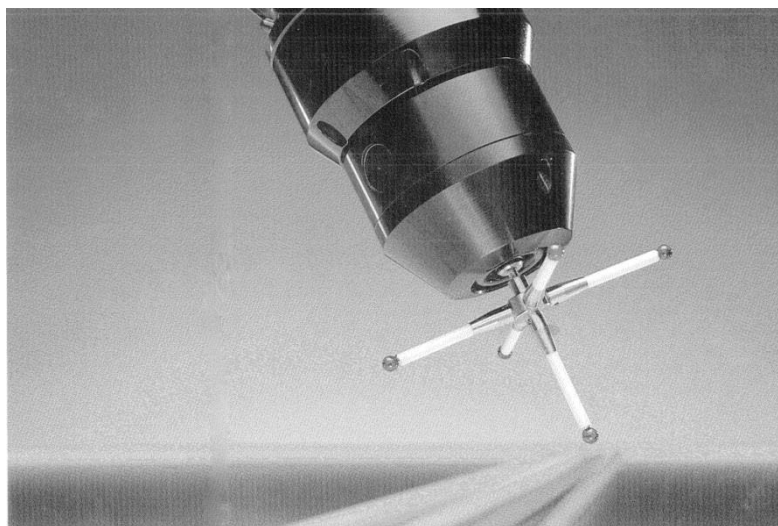


Рис. 4.25. Процесс контроля

Всю информацию о ходе технологического процесса можно дистанционно передавать по телефонным каналам, посредством ЭВМ,



непосредственно подключением оператора-станочника или на цифropечатающее устройство (принтер) (рис. 4.26).

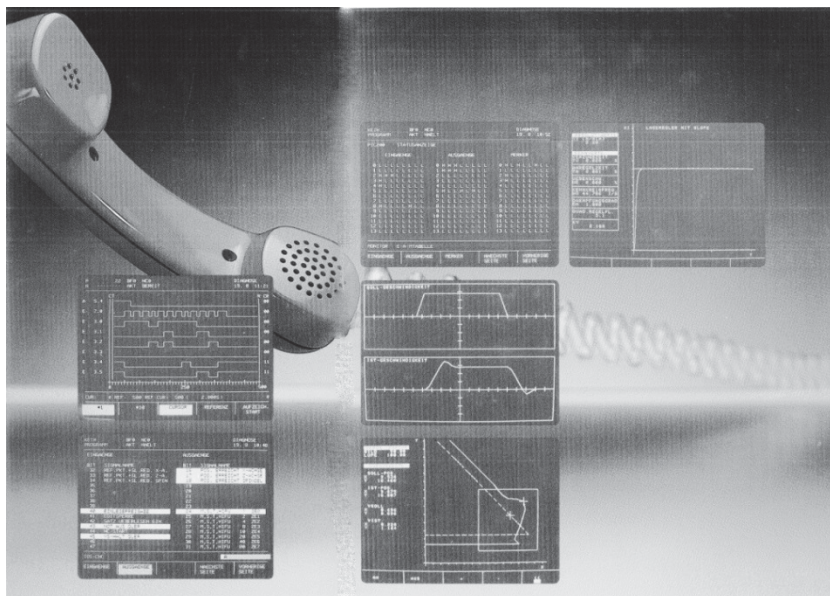


Рис. 4.26. Передача сигналов результатов обработки

В качестве примера программирования непосредственно станка с графическим вводом и моделированием можно привести многоцелевой токарный станок LU 300-М (фирма OKUMA, Япония) (рис. 4.27), оборудованный комплектом Бош КК 200Т (фирма «Роберт Бош ГмбХ», Германия).

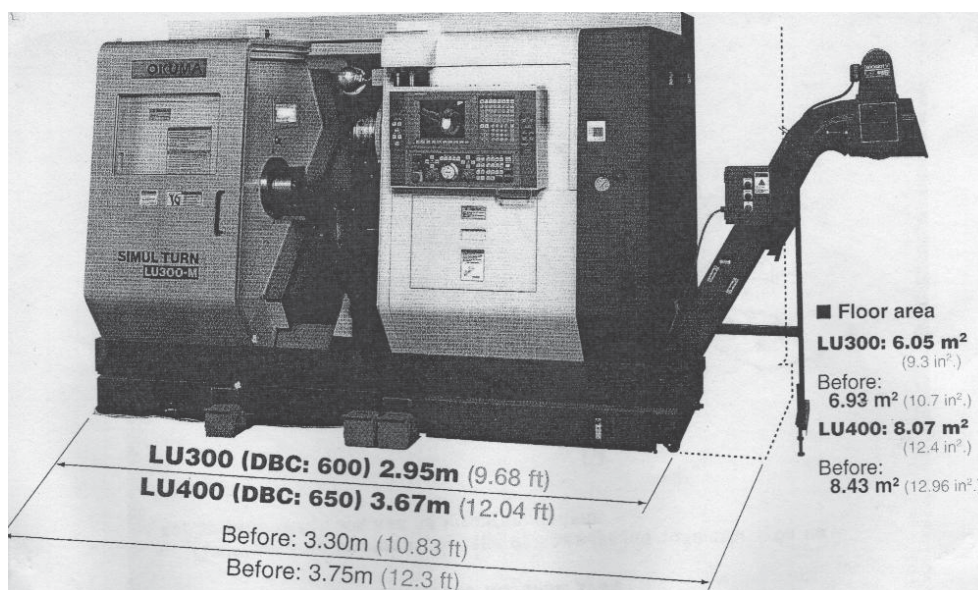


Рис. 4.27. Многоцелевой токарный станок LU 300-М с комплектом Бош КК 200Т

Вместе с тем большинство отечественных многоцелевых станков (обрабатывающих центров), работающих на различных машиностроительных предприятиях, снабжены системами управления, разработка программы для которых осуществляется вне станка специалистами-программистами (рис. 4.28), а затем переносится на станок (рис. 4.29).

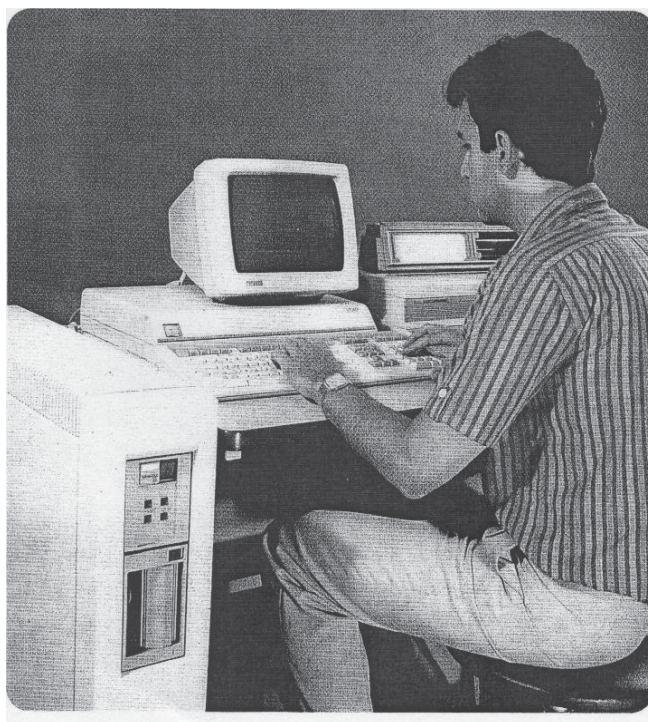


Рис. 4.28. Программное обеспечение с использованием стационарной аппаратуры

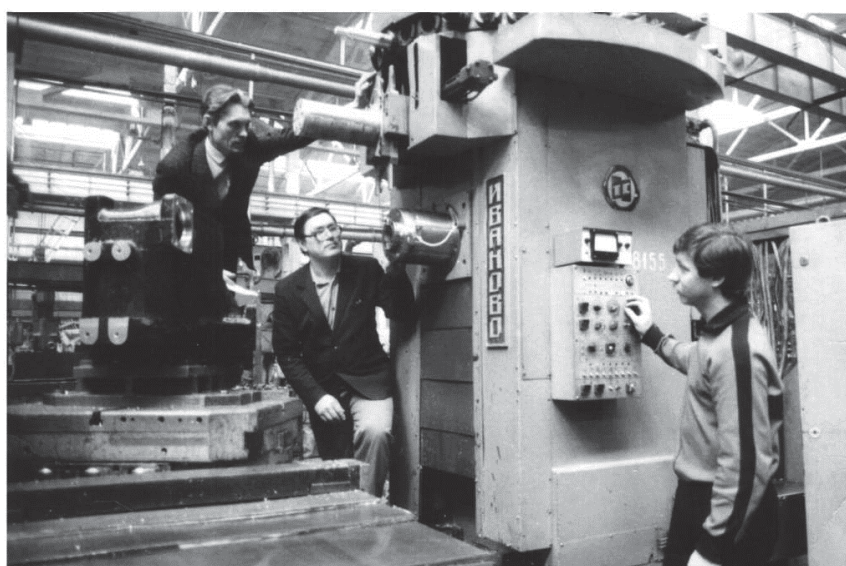


Рис. 4.29. Идет наладка отечественного многоцелевого станка ИР-800 ПМФ4

Некоторые видоизменения первого способа достижения точности (пробные ходы и промеры) могут возникнуть при изготовлении уникальных деталей в тяжелом машиностроении, производстве оборудования предприятий строительной индустрии [7]. Сначала изготавливают тот элемент детали, который оказывается более трудоемким и связан с преодолением технологических трудностей (например, получение фасонного отверстия). Далее с помощью измерительных средств определяют точностные показатели в закоординированных сечениях обработанной поверхности. Значения этих показателей заносят в формуляр. Сопрягаемую деталь (например, фасонный вал) изготавливают по формуляру, который является исходным документом для станка, расположенного в другом цехе, фирме, стране и т. д.

Идея работы по формуляру развита в прецизионном машиностроении, когда в систему связаны два металлорежущих станка, изготавливающих сопряженные детали. Например, если на одном станке производят прецизионные гайки для шариковой винтовой передачи, то все отклонения параметров винтовой поверхности конкретной гайки автоматически передаются на станок, изготавливающий конкретный ходовой винт с учетом точностных особенностей конкретной гайки. Такая пара «винт – гайка» обладает наивысшей точностью, но её детали не являются взаимозаменяемыми.

С увеличением количества заготовок в партии применяют способ автоматического получения размеров. Одним из широко используемых является метод обработки на **предварительно настроенных станках**. В этом случае заготовки не выверяют, а закрепляют, как правило, в приспособлениях, которые определяют их положение относительно оборудования и инструмента. Инструмент или заготовка совершает обычно один ход, в результате которого технологическая замкнутая система обеспечивает все необходимые точностные показатели детали. Такой способ поддерживает заданную производительность с соблюдением такта выпуска, а точностные показатели зависят целиком от состояния технологической системы. Субъективные факторы влияют на точность лишь в том смысле, что рабочий в соответствии со своей квалификацией настраивает технологическую систему. Этот способ



экономически себя оправдывает особенно при больших партиях заготовок, когда затраты на настройку технологической системы раскладываются на стоимость большого количества деталей. Примерами этого распространенного способа является точение на копировальных и многорезцовых автоматах, фрезерование на продольно-строгальных станках, тонкое растачивание и др.

Прогрессивным является способ автоматического получения точности размеров с использованием **систем управляющего (активного) контроля** [9].

Одним из таких способов достижения точности является использование **подналадчиков**. В технологическую систему встраивают измерительное и регулирующее устройство, которое является подналадчиком. Изготавливаемые детали по окончании процесса обработки измеряют, и в случае выхода выдерживаемого размера за поле технологического допуска система автоматически поднастраивается, т. е. корректируется, чтобы снова получать необходимые точностные характеристики. Такую систему используют, когда совершается один рабочий ход, например растачивание или бесцентровое шлифование (рис. 4.30). Эта конструкция устройства, разработанная в Уральском федеральном университете имени первого президента России Б. Н. Ельцина на кафедре «Технология машиностроения», позволяет контролировать метрологически сложные прерывистые (несплошные) поверхности с точностью до 0,5 мкм.

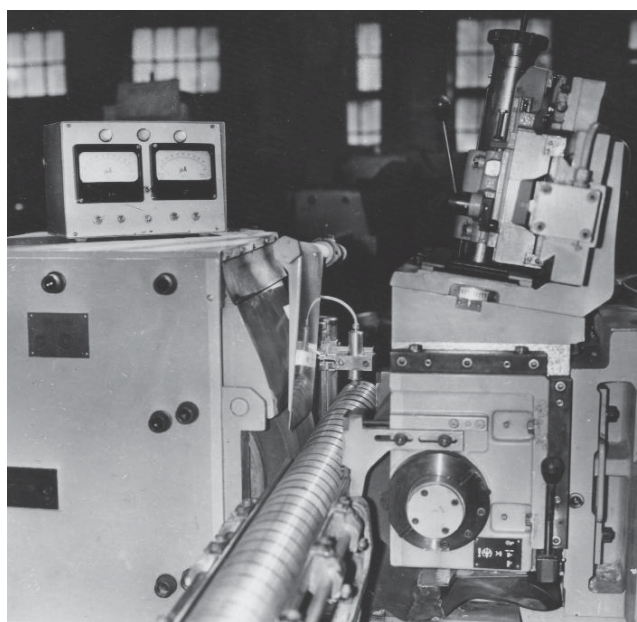


Рис. 4.30. Использование подналадчика на бесцентрово-шлифовальном станке

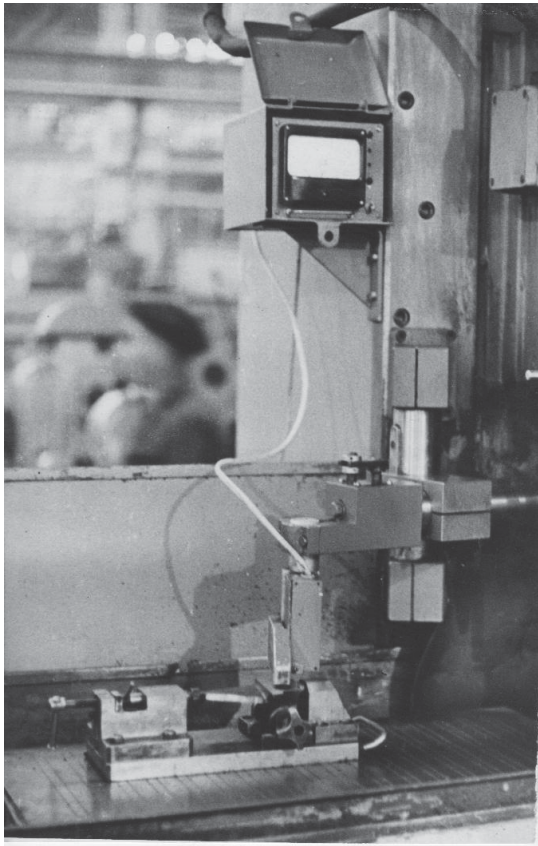


Рис. 4.31. Использование прибора управляющего контроля на плоскошлифовальном станке

Для станков, выполняющих обработку за несколько рабочих ходов (круглое наружное, плоское шлифование), используют устройства, измеряющие заготовку в период выполнения операции (рис. 4.31) [12]. При достижении заданного размера эти устройства автоматически отключают подачу инструмента (шлифовального круга). В результате повышается точность обработки.

Дальнейшим развитием способа автоматического получения размеров стало использование **самонастраивающихся (адаптивных) и самооптимизирующихся систем управления**

станками. В станках с адаптивным управлением при обработке каждой заготовки регулируется режим обработки (подача, скорость резания), чтобы обеспечить заданное качество деталей и выдержать требуемую производительность обработки. В простейших адаптивных системах стабилизация силы резания часто осуществляется путем плавного изменения подачи инструмента. Адаптивные системы управления станками оборудуют электронно-вычислительным устройством, которое в минимальное время задает оптимальные условия обработки детали (подача, скорость резания).

При выборе способа обеспечения заданного размера следует особо учитывать производимые затраты. На рис. 4.32 приведен график затрат  $C$  в зависимости от качества точности, достигаемого различными методами обработки. Кривая  $I$  показывает существенное увеличение затрат при достижении высокой точности, что связано с необходимостью применения прецизионных станков и квалифицированной рабочей силы. Этот эффект

снижается с применением чистового шлифования (кривая 2) и далее – тонкого шлифования (кривая 3).

В ходе достижения заданного размера всегда используется замкнутая технологическая система, поэтому любой размер концентрирует погрешности, создаваемые всеми элементами системы. Тем не менее во многих случаях из всех погрешностей можно выделить доминирующие, т. е. те, которые влияют на размер в наибольшей степени. Можно считать,

что, например, при развертывании отверстия в заготовке 3 (рис. 4.33, а) диаметр  $D$  отверстия будет в основном определяться размерами инструмента. Поэтому величину  $D$  можно условно назвать *размер – инструмент*. Аналогично размер  $P$  (рис. 4.33, б) будет в значительной степени определяться степенью настройки фрезерного станка относительно заготовки. Поэтому величину  $P$  можно условно назвать *размер – станок*. При сверлении отверстий в заготовке, помещенной в приспособление (сверлильный кондуктор), расстояние  $A$  на детали в наибольшей степени будет зависеть от точности изготовления кондуктора (рис. 4.33, в). Поэтому величину  $A$  можно условно назвать *размер – приспособление*. Такая классификация размеров

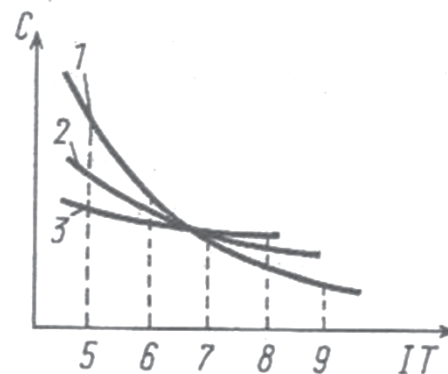


Рис. 4.32. График изменения затрат при использовании различных методов обработки: 1 – точение; 2 – чистовое шлифование; 3 – тонкое шлифование

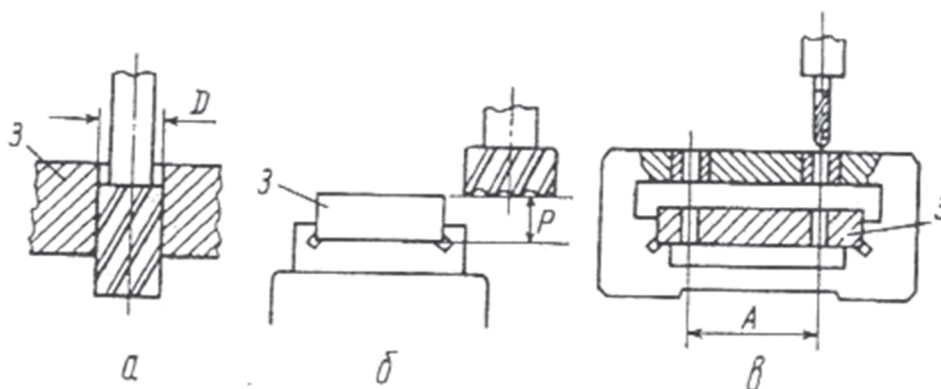
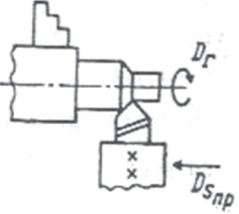
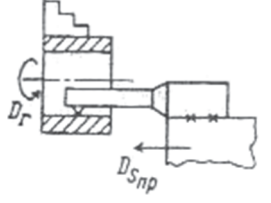
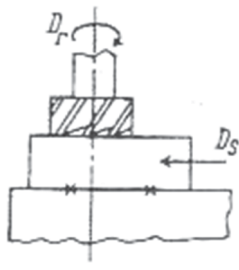
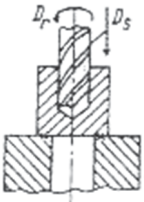


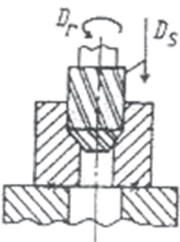
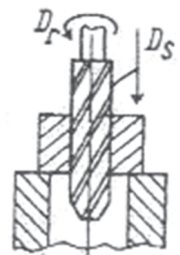
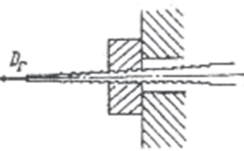
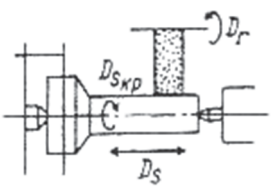
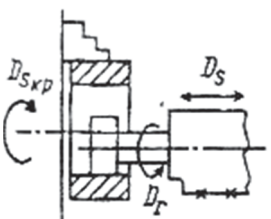
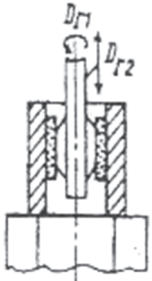
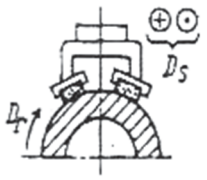
Рис. 4.33. Схемы образования размеров

может быть использована при общем анализе формирования точности деталей. Точность, достигаемая при изготовлении деталей машин резанием, существенно зависит от используемого метода, режущего инструмента, оборудования и многих других конкретных условий (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Средние значения показателей точности

Метод обработки	Схема обработки	Квалитет	Ra, мкм
Обработка наружных цилиндрических поверхностей точением: черновая получистовая чистовая тонкая алмазными резцами		IT 14 IT 13–IT 11 IT 10–IT 8 IT 8–IT 7 IT 6–IT 5	50...6,3 25...1,6 6,3...0,4 1,6...0,2 0,04...0,016
Растачивание: черновое чистовое тонкое		IT 13–IT 11 IT 10–IT 8 IT 7–IT 5	25...1,6 6,3...0,4 3,2...1,6
Фрезерование: черновое  чистовое  тонкое		Отклонение от прямолинейности 0,15...0,3 мм на 1 м длины Отклонение от плоскостности 0,04...0,08 мм на 1 м длины Отклонение от плоскостности 0,02...0,04 мм на 1 м длины	50...12,5 10...1,25 2,5...0,4
Сверление и рассверливание		IT 13–IT 9	25...0,8

Метод обработки	Схема обработки	Квалитет	Ra, мкм
Зенкерование: черновое чистовое, после сверления		IT 13–IT 12 IT 13–IT 8	25...6,3 25...0,4
Развертывание: точное тонкое		IT 9–IT 7 IT–IT 5	6,3...0,4 3,2...0,1
Протягивание отверстий: черновое чистовое		IT 11–IT 10 IT 9–IT 6	12,5...0,8 6,3...0,2
Шлифование наружное: предварительное чистовое тонкое		IT 9–IT 8 IT 7–IT 6 IT 6–IT 5	6,3...0,4 3,2...0,2 1,6...0,1
Шлифование внутреннее: предварительное чистовое тонкое		IT 9–IT 8 IT 7–IT 6 IT 5	6,3...0,4 3,2...0,2 1,6...0,1
Хонингование отверстий, притирка		IT 5–IT 4	0,8...0,1
Суперфиниширование		IT 5–IT 4	0,2...0,025



В табл. 4.3 для рассмотренных методов показаны квалитеты допуска размеров. Их колебание объясняется некоторым непостоянством условий обработки на производстве. Квалитеты допуска следует рассматривать как ориентировочные.

Точность, получаемая после черновой обработки, существенно зависит от точности исходной заготовки. Точность же, характерная для чистовой обработки, зависит от точности предшествующей обработки. Как правило, черновая обработка повышает точность на один-три, а чистовая – на один-два квалитета. Следует также учитывать, что на деталях, изготовленных из чугуна и сплавов цветных металлов, точность обработки при прочих равных условиях оказывается выше примерно на один квалитет, чем на деталях из стали.

Для электрофизических и электрохимических методов обработки, а также для обработки без снятия стружки (обкатывание, раскатывание, дорнование, выглаживание, дробеструйная обработка, воздействие ультразвуковыми колебаниями и др.) разработаны таблицы, аналогичные рассмотренной выше.

#### 4.4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ДОСТИЖИМАЯ ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ. ЗАВИСИМОСТЬ СЕБЕСТОИМОСТИ ОБРАБОТКИ ОТ ТОЧНОСТИ

Для каждого метода механической обработки существуют определенные пределы точности обработки. При этом различают экономическую и достижимую точность обработки.

**Экономическая точность** механической обработки – точность, которая достигается при минимальной себестоимости обработки. При этом имеются в виду нормальные производственные условия, исправный станок, применение требуемых приспособлений и инструментов, квалификация рабочего, соответствующая характеру работы.

**Достижимая точность** – та максимальная точность, которая может быть достигнута при обработке детали рабочим высокой квалификации, работающим на одном и том же станке при неограниченной затрате времени.

Вполне естественно, что достижимая точность обработки выше экономической точности обработки. Достижимая точность в большинстве случаев неоправдана из-за больших затрат на обработку, поэтому в большинстве случаев придерживаются экономической точности.

Следует иметь в виду, что затраты (себестоимость) на механическую обработку весьма сильно зависят от точности обработки, т. е. повышение точности деталей ведет к увеличению себестоимости обработки. На рис. 4.34 приведена примерная кривая изменения затрат на обработку детали в условных единицах в зависимости от точности обработки. Из рис. 4.34 следует, что точность обработки сильно влияет на стоимость в зоне высокой точности и незначительно в зоне малой точности. В табл. 4.3 приведены данные об экономической точности для основных методов механической обработки.

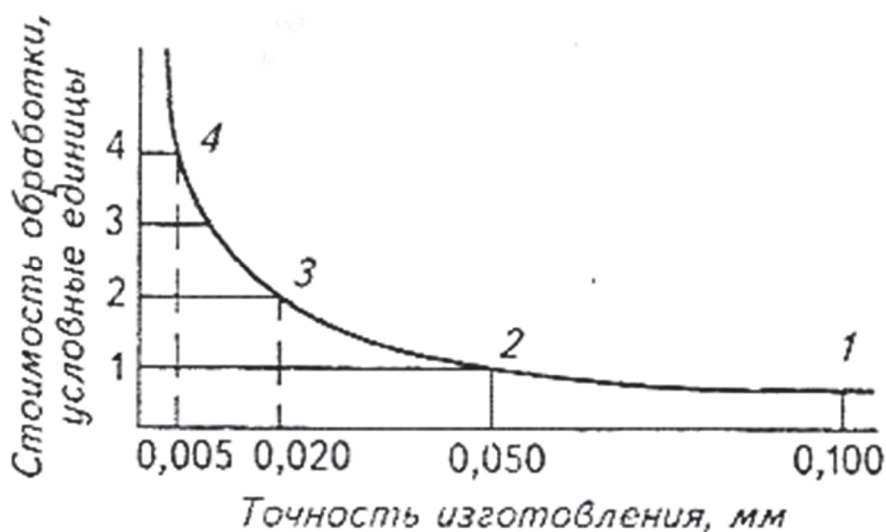


Рис. 4.34. Зависимость затрат на изготовление детали от точности обработки: 1 – вал (точение, холоднотянутый пруток); отверстие (сверление, развертывание); 2 – вал (точение), отверстие (сверление, развертывание); 3 – вал (точение, шлифование); отверстие (сверление, развертывание); 4 – вал (точение, шлифование, доводка); отверстие (сверление, развертывание, доводка)

### Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите факторы, влияющие на точность обработки деталей.
2. Какие существуют виды погрешностей?
3. Что такое жесткость станка и какова ее размерность?
4. Какая составляющая силы резания ( $P_{x\alpha}$  или  $P_y$ ) вызывает наибольшие деформации детали?
5. Определите тепловые деформации вала  $d = 100$  мм в направлении размера  $d$  при его нагреве  $\Delta t = 40$  °С и температурном коэффициенте линейного расширения  $\alpha = 0,000012$  1/°С.
6. Какие существуют меры борьбы с внутренними напряжениями в крупных отливках и штамповках?
7. Что такое технологическая наследственность?
8. Перечислите способы обеспечения точности обработки.
9. Что такое поле рассеивания размеров, полигон распределения, абсолютная и относительная частость?
10. Как по кривой распределения размеров можно определить вероятность появления брака при обработке?
11. В чем заключается сущность метода точечных диаграмм и как его используют при контроле продукции?
12. Как суммируют погрешности обработки?
13. Что такое экономическая и достижимая точность обработки?

## 5. КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

### 5.1. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Анализ функционирования деталей машин убедительно показывает, что правильно сконструированные и эксплуатируемые изделия не выходят из строя вследствие поломок. Если и возникают поломки, аварии, катастрофы, то их причины всегда связаны с чрезвычайными обстоятельствами, а не с нормальными условиями эксплуатации. Вместе с тем очевидно, что срок службы машин всегда ограничен. Машины выходят из строя вследствие причин, связанных с функционированием поверхностных слоев деталей машин и с несовершенством этих слоев. Технологические методы обработки заготовок, непосредственно связанные с проблемой точности, самым решающим образом влияют на качество поверхностных слоев и, следовательно, формируют качество всей машины.

Под термином *качество поверхностного слоя* понимают единство трех показателей: шероховатости поверхности, ее волнистости и физико-механических характеристик слоя. Хотя эти показатели рассматривают отдельно, их взаимное влияние очевидно. В зависимости от служебного назначения детали определяющим становится то один, то другой показатель.

При оценке качества поверхностного слоя необходимо обратиться к его строению. Можно выделить условно отдельные части граничного слоя, который в собранной машине контактирует с сопрягаемой деталью. Собственно граничный слой состоит из нескольких условно представленных слоев атомов. Их положение существенно отличается от положения атомов, находящихся в глубинных слоях. Атомы глубинных слоев со всех сторон окружены другими атомами и, следовательно, уравновешены силовыми полями. Такие атомы находятся в состоянии устойчивого равновесия. Атомы же, лежащие на поверхности, испытывают воздействие только соседних и нижележащих атомов. Поэтому они находятся в неустойчивом, неуравновешенном состоянии, а граничный слой обладает запасом свободной поверхностной энергии. Часть

поверхностной энергии (потенциальная энергия) затрачивается на деформирование кристаллической решетки, а вторая часть (кинетическая энергия) – на колебательный процесс атомов граничного слоя.

Повышенная энергетическая активность поверхностного слоя непосредственно связана с его служебными свойствами, поскольку из-за такой активности поверхность адсорбирует элементы окружающей среды и прежде всего пары воды, газы, жиры и др. Это обстоятельство влияет на контакт детали с другими поверхностями. Толщины адсорбированных слоев составляют от нескольких микрометров до их тысячных долей.

Адсорбированные пары (жидкость) проникают в тонкие трещины (рис. 5.1, *а*), которые всегда имеются на поверхности. Жидкость создает в капиллярах высокое давление, в результате чего нарушается прочность поверхностного слоя, так как отдельные кристаллиты испытывают микросдвиги. Из-за несовершенства граничного слоя в связи с точечными дефектами (рис. 5.1, *б*) его отдельные участки обладают различной химической активностью. На поверхности детали имеются миллионы участков типа показанных на схеме. Поверхность гетерогенна в геометрическом и химическом отношении, что непосредственно связывается с характером явлений в ходе контактирования деталей со средой. На поверхности возникают различные химические соединения. В своем большинстве они представляют собой оксиды.

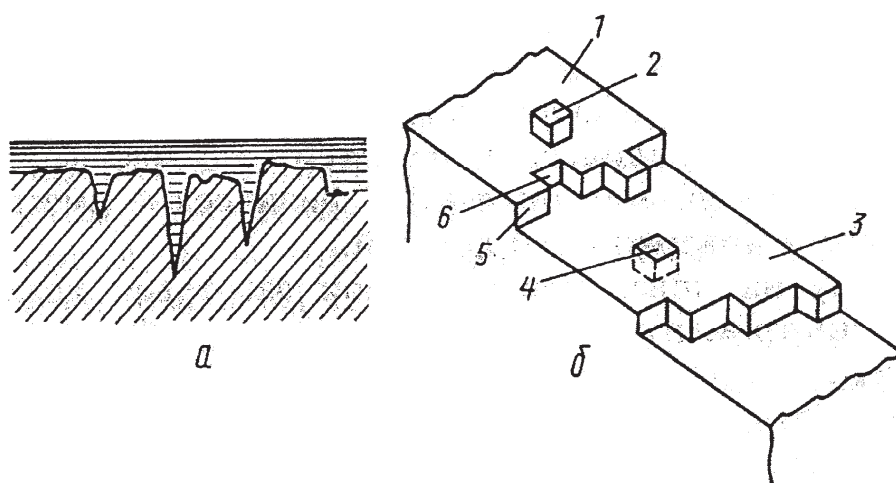


Рис. 5.1. Схема поверхностного слоя (*а*) и модель строения поверхности (*б*):  
1 – терраса; 2 – адсорбированный атом; 3 – то же на ступеньке; 4 – вакансия на террасе;  
5 – одноатомная ступенька; 6 – петля

Ниже граничного располагается слой, свойства которого определяются его спецификой, связанной с сильно деформированными частицами материала. Такое деформирование произошло из-за технологического воздействия инструмента на поверхность в ходе предшествующих операций. Между измельченными кристаллитами поверхностного слоя находится прослойка, которая состоит из основного металла с большим количеством дислокаций, а также из различных примесей, концентрирующихся по границам зерен.

Примеси в металлах – это распределенные по всему объему поверхностного слоя инородные атомы. Их присутствие вызывает искажение кристаллической решетки, они оказывают очень сильное влияние на механические, физические, магнитные и другие свойства поверхностей деталей.

Поскольку на поверхностные слои заготовок воздействуют различные инструменты, то напряжения здесь будут отличаться от напряжений в сердцевине материала. Возникновению напряжений способствуют также фазовые превращения, местный нагрев. Такие напряжения уравниваются только в пределах определенных областей, когда степень деформирования или иные воздействия не являются однородными. Напряжения весьма существенно влияют на служебные свойства деталей.

Велико влияние износа поверхностных слоев на качество деталей и машин. Если транспортная машина массой 3...5 т теряет в ходе эксплуатации 3...4 кг, а подшипник качения массой 10...14 кг – 20...30 г, то такие объекты полностью утрачивают свою работоспособность. Шпиндели неprecизионных станков массой 10... 12 кг уже не могут эксплуатироваться на подшипниках скольжения после изнашивания их поверхности на доли граммов. Износ деталей машин приводит к понижению их точности, увеличению динамических нагрузок, уменьшению коэффициента полезного действия, снижению прочности. Вследствие износа выходит из строя 80 % машин. На ремонт машин затрачивают огромные средства, значительная часть которых расходуется на транспортные машины.

Износ деталей машин в значительной степени зависит от шероховатости поверхностей сопряжения. В период приработки деталей, изготовленных практически из любых материалов, износ определяется особенностями данного метода обработки поверхностей. Именно поэтому технология машиностроения в наибольшей степени связана с обеспечением износостойкости. Назначение и обеспечение на практике оптимальных параметров шероховатости поверхностей позволяет уменьшить период приработки в 2...2,5 раза.

Исследованиями установлено [10], что усталостные разрушения также начинают зарождаться на поверхности. Явления усталости тесным образом связаны с шероховатостью поверхности и физико-механическими характеристиками поверхностного слоя. Чем меньше шероховатость, тем выше при прочих равных условиях усталостная прочность, поскольку каждая неровность поверхности является концентратором напряжений и очагом разрушения. Концентрация напряжений зависит не только от глубины микроследов (рисок) от воздействия инструмента, но и от формы этих следов.

Характеристики поверхностных слоев непосредственно связаны с контактной жесткостью, виброустойчивостью, коррозионной стойкостью, прочностью сопряжений, плотностью соединений, теплоотражением, прочностью сцепления с покрытием, сопротивлением обтеканию газами и другими эксплуатационными показателями.

## 5.2. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Качество поверхностного слоя имеет для машиностроения исключительно большое значение. Для оценки используют количественные параметры: шероховатость, волнистость и др.

*Шероховатостью* называют совокупность микроследов сравнительно небольшого шага на базовой длине. Периодически чередующиеся неровности, шаг которых существенно превышает базовую длину, принятую для измерения шероховатости, называют *волнистостью*. Волнистость занимает промежуточное состояние между шероховатостью и отклонениями формы

поверхностей. Для шероховатости характерно отношение  $L/H_B < 50$  (рис. 5.2), для волнистости –  $L/H_B = 50...1000$  и для отклонений формы –  $L/H_B > 1000$ . Значения  $\rightarrow H_B$  лежат в интервале от долей микрометра до десятков миллиметров. При оценке шероховатости учитывают не только  $l$  и  $H$ , но также форму микровыступов, так как она решающим образом влияет на служебные свойства деталей.

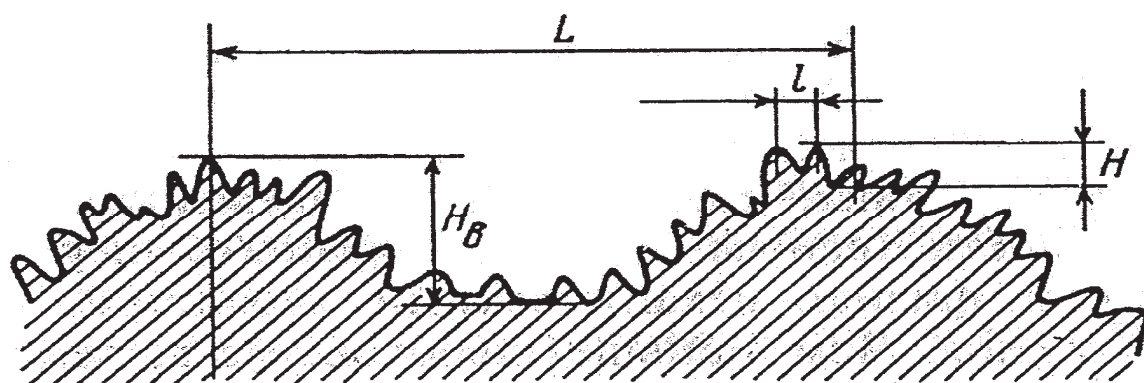


Рис. 5.2. Шероховатость и волнистость поверхности

В технической литературе, а также на графиках, которые автоматически выдают приборы для измерения шероховатости, микронеровности изображаются, как показано на рис. 5.3, а. Следует иметь в виду, что здесь микронеровности даны в искаженном виде, с сильным увеличением по оси ОУ. Это делается для удобства анализа. Если бы масштаб изображения микронеровностей по осям ОХ и ОУ был бы одинаковым, микронеровности представлялись бы схемой, приведенной на рис. 5.3, б.

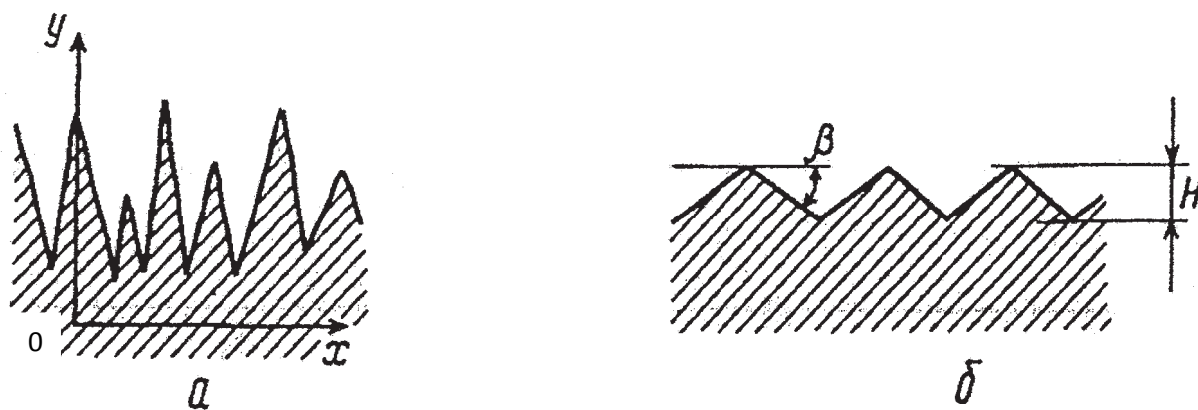


Рис. 5.3. Схемы изображения микронеровностей



При значении  $H$ , изменяемом в зависимости от метода обработки и составляющем от долей до десятков и сотен микрометров, значения угла  $\beta$  изменяются от  $15...20^\circ$  (грубое точение) до  $1...3^\circ$  (притирка). Однако при одинаковых масштабах по координатным осям профилограммы имели бы очень большую длину, что вызывало бы трудности их практического использования.

Наблюдаются два принципиально различных вида профилей микронеровностей. Профиль может быть *регулярным*, когда микронеровности расположены как совокупность следов определенного, одинакового направления с явно выраженным чередованием (точение, сверление, фрезерование, шлифование и др.). При *нерегулярном* профиле четкого чередования следов не наблюдают (электроискровая обработка, дробеструйный обдув и др.).

Шероховатость поверхности оценивают по ряду характеристик. Каждая страна (группа стран) имеет свои стандарты (табл. 5.1) [10].

Таблица 5.1

### Стандартные параметры шероховатости в различных странах

Страна	Параметры шероховатости*														Число параметров
	Ra	Rp	Rm	RMS	Rz	R <sub>max</sub>	R	It	tp	Ar	Sm	S	kp	k	
Россия	+				+	+			+		+	+			6
Австрия	+		+	K <sub>5</sub>		Rt		Lt	+					+	7
Болгария	+				+	+									3
Великобритания	CLA						H <sub>l</sub>								2
Венгрия	+	Rt	Rf	hg	+	+							kp	kh	9
Дания	+	Ru	+	+	+	+	+	Bb	Kb					+	10
Испания	hm			h <sub>rms</sub>			H						kv		4
Италия	+	Rc	Ri	Raq			+							kp	6
Нидерланды	+														1
Польша	+					+	+								3
Румыния	+					+	+								3
Сербия	+				+	+		In	Pn	k					6
США	AA			+											2
Финляндия	+				+	+									3
Франция	+	+		Rq		+	Rv	Lc	Tc	Av			+	kv	10
ФРГ	+	+			+	Rt		+	+						6
Чехия	+				+	+									3
Швеция	+	G													3
Швейцария	+	+		Rq		+	H						+	kv	9
Япония							Rv, Rs	t	tc						0
ISO	+				+	+									3

\* Знак "+" означает стандартизированные, пустые графы – нестандартизированные параметры.

Так, во Франции и Дании шероховатость оценивают по десяти характеристикам (параметрам), в Испании – по семи, в Германии – по шести, в Чехии – по трем, в Японии – по одному. В ряде стран принят стандарт, предложенный в России. Он оценивает шероховатость по шести параметрам. Изображение шероховатости (рис. 5.4) разделяет *средняя линия профиля  $m$* , которая проведена по определенным правилам.

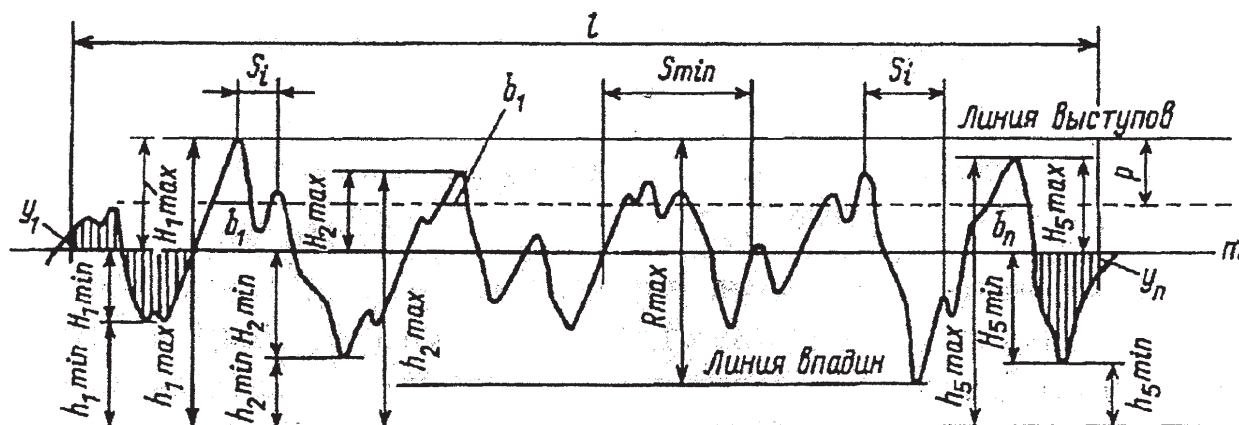


Рис. 5.4. Профиль шероховатости и его характеристики

На средней линии выделяют *базовую длину  $l$* , значение которой выбирают по стандарту в зависимости от метода обработки поверхности. *Линия выступов* и *линия впадин* проходят через наивысшую и наинизшую точки профиля и параллельны средней линии. Расстояние между линиями выступов и впадин называют *наибольшей высотой неровностей профиля  $R_{max}$* .

Шероховатость оценивают по трем высотным параметрам  $R_a$ ,  $R_z$  и  $R_{max}$ , двум шаговым параметрам  $S$  и  $S_m$  и по *относительной опорной длине микропрофиля  $tr$* . Параметр  $R_a$  называют *средним арифметическим отклонением профиля* и определяют как

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

или приближенно

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $n$  – число выбранных точек на базовой длине  $l$ ;  $y_i$  – отклонение профиля, т. е. расстояние между любой точкой профиля и средней линией.

Расстояния  $y_i$  берут без учета знака, т. е. как ординаты над и под линией  $m$  (показаны в виде вертикальных линий в левой и правой частях рис. 5.4).

Параметр  $R_z$  – *высота неровностей по десяти точкам* – представляет собой сумму средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |H_{i\max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i\min}| \right)$$

где  $H_{i\max}$  – отклонения пяти наибольших максимумов профиля;  $H_{i\min}$  – отклонения пяти наибольших минимумов профиля.

*Средним шагом  $S$  местных выступов профиля* называют среднее значение шага местных выступов в пределах базовой длины.

*Средним шагом  $S_m$  неровностей профиля* называют среднее значение шага неровностей профиля по средней линии в пределах базовой длины.

*Относительная опорная длина  $tp$*  профиля определяется отношением опорной длины профиля к базовой длине:

$$tp = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i,$$

где  $p$  – уровень сечения профиля, определяемый расстоянием между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов ( $p$  устанавливают в процентах от  $R_{\max}$ );  $b_i$  – длина отрезка, отсекаемого на микровыступе.

Параметр  $tp$  достаточно полно характеризует поверхность фактического соприкосновения (контакта) двух деталей, образующих сопряжение.

Существует корреляционная связь высотных параметров шероховатости  $R_a$ ,  $R_z$  и  $R_{\max}$ . Для плосковершинной и отделочно-упрочняющей обработки в среднем

$$R_{\max} = 5,0 R_a, R_z = 4,0 R_a;$$

для точения, строгания и фрезерования

$$R_{\max} = 6,0 Ra, Rz = 5,0 Ra;$$

для остальных методов обработки

$$R_{\max} = 7,0 Ra, Rz = 5,5 Ra.$$

Основной смысл введения шести параметров для оценки шероховатости поверхности состоит в том, что с их помощью можно регламентировать шероховатость в зависимости от служебного назначения и условий эксплуатации деталей (изнашивание, контактная жесткость, выносливость и др.).

Шероховатость поверхности на чертежах указывают с помощью условных обозначений. Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 5.5, а. При применении знака без указания параметра и способа обработки его изображают без полки.

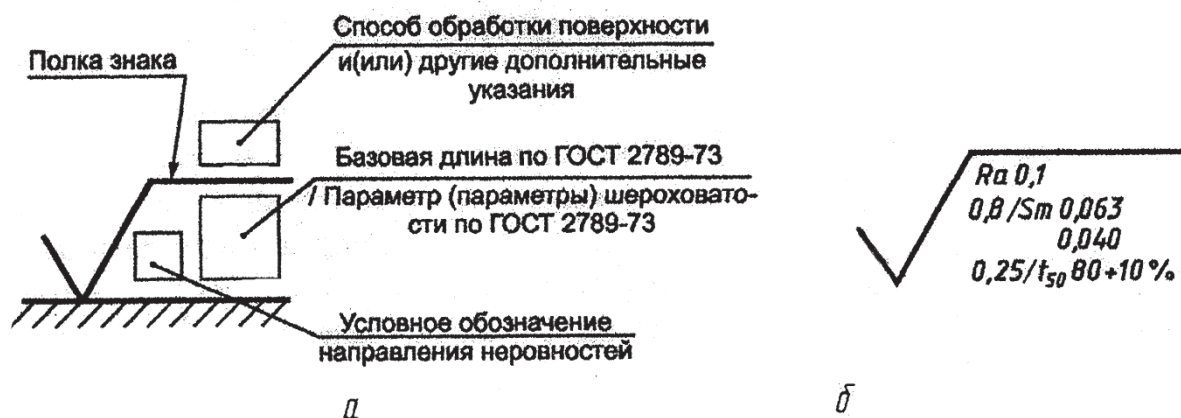


Рис. 5.5. Структура обозначения шероховатости поверхности (а)  
и пример расположения параметров шероховатости (б)

Значение параметра шероховатости по ГОСТ 2789–73 указывают в обозначении шероховатости после соответствующего символа, например:  $Ra\ 0,4$ ;  $R_{\max}\ 6,3$ ;  $Sm\ 0,63$ ;  $t_{50}\ 70$ ;  $S\ 0,032$ ;  $Rz\ 50$ . При указании наибольшего значения параметра шероховатости в обозначении приводят параметр шероховатости без предельных отклонений, например:  $\sqrt{Ra0,4}$ ;  $\sqrt{Rz50}$ . При указании двух и более параметров шероховатости поверхности в обозначении шероховатости значения параметров записывают сверху вниз в следующем порядке (рис 5.5, б). Первый

параметр  $Ra\ 0,1$  – среднее арифметическое отклонение профиля с наибольшим значением  $0,1$  мкм. Следующий параметр – средний шаг неровностей профиля  $S_m$  на базовой длине  $0,8$  мм с указанием пределов значения от  $0,063$  мкм (более грубая поверхность) до  $0,040$  мкм (наименьшая шероховатость поверхности). Обозначение  $0,25/t_{50}\ 80+10\ \%$  расшифровывается как относительная опорная длина  $80\ \%$  при уровне сечения профиля  $p = 50\ \%$  с предельным отклонением  $+10\ \%$  на базовой длине  $0,25$  мм.

Правила нанесения обозначений шероховатости поверхностей на чертежах приведены на рис. 5.6.

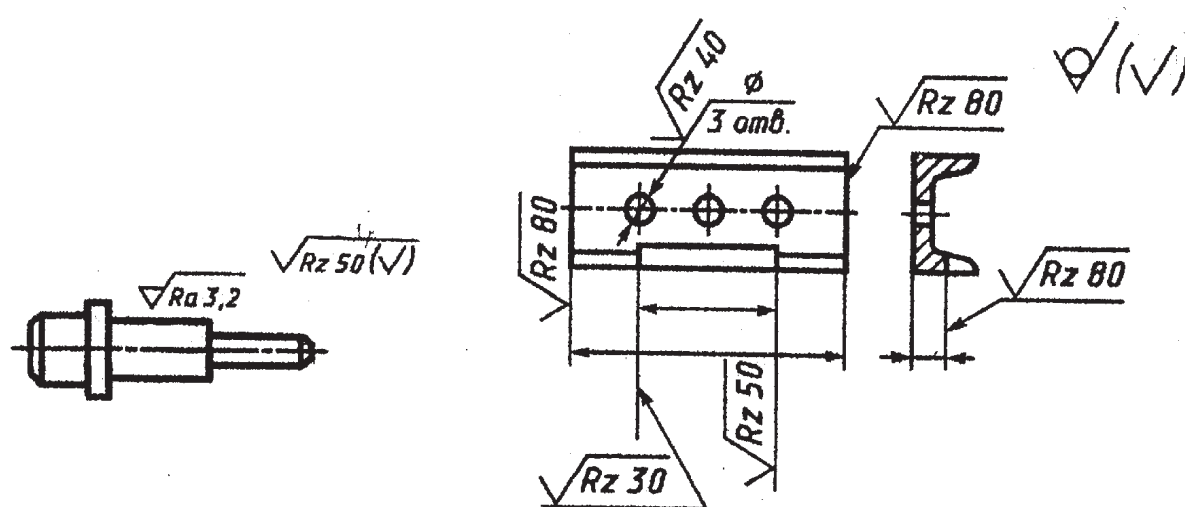


Рис. 5.6. Правила нанесения обозначений шероховатости

Обозначение, одинаковое для части поверхностей изделия, может быть помещено в правом верхнем углу чертежа вместе с условным обозначением  $(\checkmark)$ . Это означает, что все поверхности, на которых на изображение не нанесены обозначения шероховатости или знак  $\checkmark$ , должны иметь шероховатость, указанную перед условным обозначением  $(\checkmark)$ . Размеры и толщина линий должны быть приблизительно в  $1,5$  раза больше, чем в обозначениях, нанесенных на изображении.

Напряжения в поверхностных слоях возникают из-за воздействия на поверхность инструмента фазовых превращений и температурных факторов. Их определяют по специальным методикам с использованием аппаратуры, позволяющей сделать анализ поверхностного слоя на образцах, вырезанных из

деталей, или непосредственно на деталях. Весьма полезны графики, выдаваемые аппаратурой в автоматическом режиме и показывающие распределение напряжений по глубине поверхностного слоя. Каждый метод обработки характеризуется своим специфическим графиком.

Качество поверхностного слоя оценивают также по числу дислокаций – различных дефектов и несовершенств кристаллической решетки. Наличие дислокаций особенно сильно снижает прочность металлов. В одном кубическом сантиметре отожженного металла плотность дислокаций составляет  $10^7 \dots 10^8 \text{ см}^{-2}$ . В накопленном металле плотность дислокаций равна  $10^{11} \dots 10^{12} \text{ см}^{-2}$ . Плотность дислокаций определяют с помощью специальной методики.

Вполне доступным методом для оценки поверхностного слоя является определение микротвердости. Ее определяют с помощью сравнительно простых приборов вдавливанием в исследуемую поверхность алмазной пирамиды и измерением с помощью микростопа диагонали получаемого при этом отпечатка.

### 5.3. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Шероховатость поверхности регламентируется конструктором, исходя из служебного назначения и условий эксплуатации деталей. Заданная шероховатость (высота микронеровностей, форма микровыступов, шаг и другие параметры) обеспечивается на производстве.

В первый период эксплуатации сопряженных поверхностей происходит их приработка. Шероховатость поверхности изменяется, а сопрягаемые детали начинают работать в иных условиях. Процесс приработки существенно влияет на срок службы машины. В зависимости от метода обработки поверхностей процесс приработки происходит с различной интенсивностью (рис. 5.7, а).

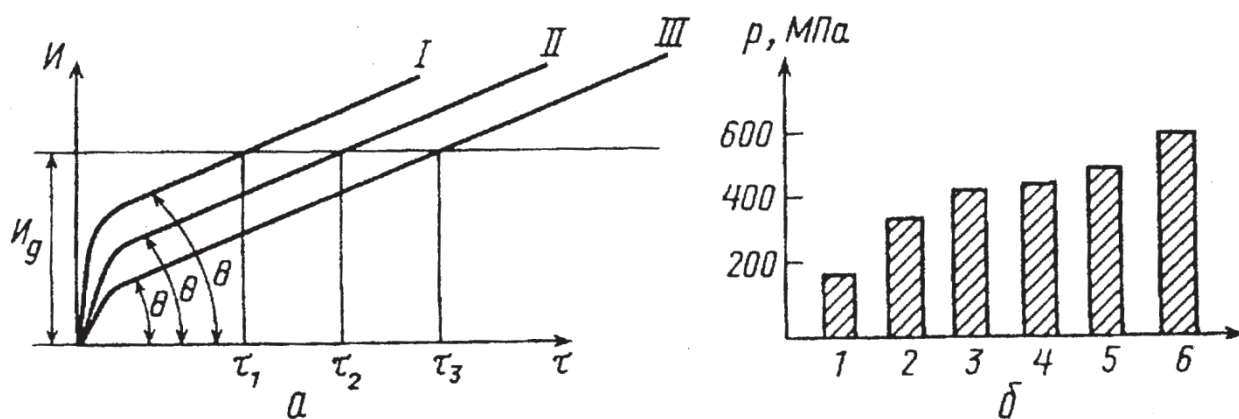


Рис. 5.7. Влияние метода обработки сопрягаемых поверхностей на служебные свойства деталей:

$a$  – изменение срока службы деталей;  $b$  – давления, приводящие к «заеданию» сопрягаемых поверхностей

По его завершении создается характерная для данных условий эксплуатации шероховатость, и изнашивание во времени происходит по одним и тем же законам. Износ  $I$  для методов обработки I, II, III характеризуется кривыми с одинаковыми углами наклона. Однако при заданном допустимом износе  $I_d$  сроки службы соединения оказываются различными ( $\tau_1, \tau_2, \tau_3$ ). Из этого следует вывод о важности выбора метода обработки поверхностей.

Эту же мысль иллюстрирует и другой эксплуатационный показатель сопряженных поверхностей – давление, приводящее к заклиниванию поверхностей, т. е. невозможности их взаимного перемещения. На рис. 5.7, б приведена диаграмма, характеризующая работу двух сопряженных деталей, которые эксплуатируются в одинаковых условиях, но методы обработки их поверхностей различны. Детали выполнены из чугуна, одна из них совершает возвратно поступательные движения на длине 100 мм, площадь контакта составляет 1450 мм<sup>2</sup>, максимальная скорость перемещения 2000 мм/мин. Пара 1, у которой обе поверхности отшлифованы цилиндрической поверхностью круга вдоль направления движения, заклинивает (поверхности перестают перемещаться одна относительно другой) при давлении примерно 200 МПа. Пара 2 имеет одну шлифованную поверхность, а другую – шабреную. При прочих равных условиях заклинивание поверхностей происходит при существенно большем давлении, что характеризует их положительно по сравнению с парой 1. У пары 3 обе поверхности шабренные, у пары 4 одна

поверхность притертая, другая – шлифованная, у пары 5 обе поверхности притертые и у пары 6 одна поверхность притертая, другая – шабрёная. Давления заедания у пар 1 и 6 различаются в три раза.

Существуют и другие параметры, показывающие решающее влияние шероховатости на эксплуатационные характеристики сопряжений. Из них следует, что, назначая шероховатость поверхностей деталей машин, конструктор может непосредственно влиять на качество машины и ее частей. Именно для этого и предложены шесть параметров шероховатости поверхности по российскому стандарту. Каждая пара поверхностей требует своего набора параметров шероховатости и указания их в соответствии с рис. 5.5 на рабочих чертежах. В качестве примера рассмотрим табл. 5.2, помогающую конструкторам регламентировать шероховатость. Таблица представляет собой лишь выборку из обширного справочного материала.

Таблица 5.2

Параметры шероховатости для разных условий функционирования  
поверхностей

Поверхность деталей	$Ra$ , мкм	$Rz$ , мкм	$R_{max}$ , мкм	$Sm$ , мкм	$tp$ , мкм	$l$ , мм
Опорные шейки валов:						
подшипники скольжения	0,32	—	—	—	$t_{20}30$	0,8
подшипники качения	0,8	—	—	—	—	0,8
зубчатые колеса	1,6	—	—	—	—	0,8
Поверхности валов, работающие на выносливость	—	—	1,0	—	$t_{20}60$	0,8
Поверхности под напыление	—	125	—	0,5	—	8,0
Поверхности основных отверстий корпусов:						
из чугуна	1,0...2,0	—	—	—	—	0,8
из стали	0,63...1,6	—	—	—	—	0,8
Направляющие трения скольжения:						
прецизионных станков	0,1	—	—	—	$t_{20}15$	0,25
тяжелых станков	1,6	—	—	—	—	0,8
Коррозирующие поверхности	0,063	—	—	0,032	$t_{20}10$	0,25



Предположим, что конструктор создает вал с шейками для установки подшипников качения. В этом случае он оговаривает только  $Ra = 0,8$  мкм, определяемое (как и все параметры шероховатости) с помощью специальных приборов, широко распространенных в промышленности. Если же на этом валу имеется участок, работающий на выносливость, то указывают значение  $R_{max} = 1,0$  мкм,  $t_p = t_{20} 60$  на базовой длине 0,8 мм.

Другие параметры шероховатости не указывают. Для поверхностей под напыление из всех параметров указывают только  $Rz$ ,  $Sm$  и  $l$ . Для корродирующих поверхностей указывают  $Ra$ ,  $Sm$ ,  $tp$  и  $l$ .

Все параметры шероховатости, назначенные конструктором, должны быть выполнены в условиях производства. Для облегчения работы технолога существуют справочные материалы, в которых приведены интервалы значений параметров шероховатости в зависимости от метода обработки.

Широко распространены справочные данные для случаев обработки наружных поверхностей вращения, внутренних поверхностей вращения и плоских поверхностей. Кроме того, имеются данные по обработке боковых специфических поверхностей: шлицев, зубьев, поверхностей профилей резьб.

Данные, приведенные в справочниках, иногда требуют уточнений в зависимости от режимов обработки. Скорость резания  $v$  существенно влияет на шероховатость (рис. 5.8, а). При обработке вязких материалов в условиях образования нароста наибольшее значение  $Rz$  наблюдается при скоростях резания 20...25 м/мин. Однако с увеличением скорости резания эффект образования нароста снижается и шероховатость уменьшается. Вместе с тем кривую, приведенную на рис. 5.8, а, нельзя считать универсальной.

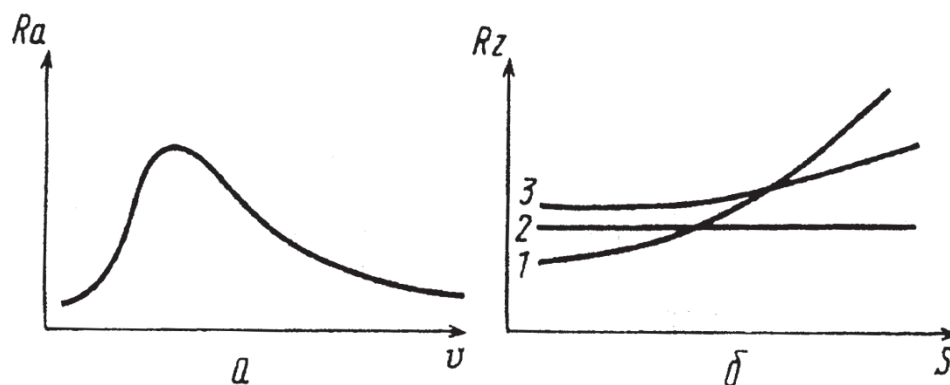


Рис. 5.8. Зависимость шероховатости от скорости резания (а) и подачи (б)

Подача  $S$  (рис. 5.8, б) влияет на шероховатость в зависимости от используемого режущего инструмента и условий обработки. При точении стандартными резцами с углом в плане  $45^\circ$  и малым радиусом закругления при вершине резца (до 2 мм) подача существенно влияет на шероховатость (кривая 1). Если точение производится резцами с широкой режущей кромкой, установленной параллельно оси изделия, изменение подачи не отражается на шероховатости (кривая 2). При сверлении, зенкеровании, торцевом и цилиндрическом фрезеровании изменение подач слабо влияет на шероховатости (кривая 3).

Глубина резания также слабо влияет на шероховатость. Изменение шероховатости с увеличением глубины резания, когда инструмент режет не по корке, а по основному материалу, связано с изменением физико-механических свойств материала в зоне резания.

Геометрические параметры режущего инструмента, равно как и его состояние, оказывают различное влияние на шероховатость. При изменении в обычных пределах переднего угла  $\gamma$  и заднего угла  $\alpha$  (рис. 5.9, а) параметры  $Ra$  и  $Rz$  изменяются незначительно. С уменьшением угла  $\phi$  в плане и вспомогательного угла  $\phi_1$  в плане (рис. 5.9, б) шероховатость заметно уменьшается. На инструментах с широкой режущей кромкой (рис. 5.9, в) шероховатость обрабатываемой поверхности определяется в основном шероховатостью режущего лезвия на участке 1-2. Этот эффект особенно сильно заметен в начальный период работы инструмента, пока микронеровности лезвия не сгладились. С уменьшением радиуса  $r$  скругления вершины резца (рис. 5.9, г) шероховатость резко возрастает.

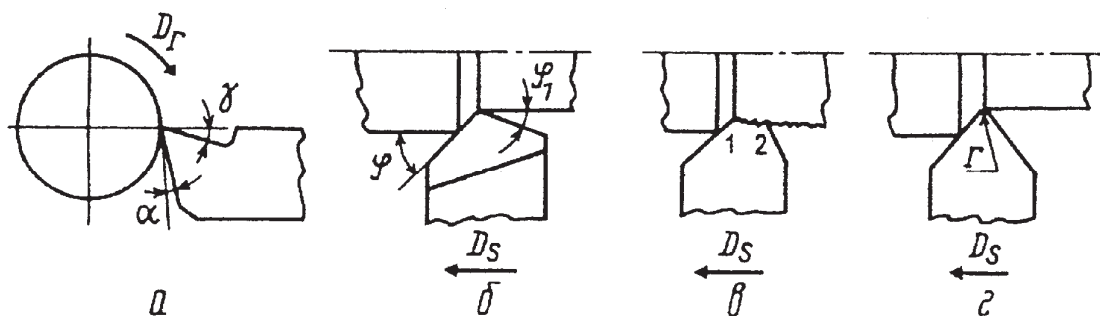


Рис. 5.9. Геометрические параметры режущего инструмента

Невооруженным глазом можно оценить влияние на шероховатость жесткости технологической системы. Это особенно отчетливо видно на примере токарной обработки. При обтачивании консольно закрепленной заготовки (рис. 5.10, а) на свободном конце вала шероховатость неизменно возрастает и отношение  $Rz_{\max}/Rz_{\min}$  определяется отношением длины  $L$  заготовки к ее диаметру  $D$ . Это отношение может достигать 2,5...3. При обработке в центрах или с закреплением левого конца заготовки в патроне, а правого – с поджатием центром эпюра шероховатости также зависит от отношения размеров заготовки (рис. 5.10, б). При  $L/D = 15$  и более наибольшая шероховатость наблюдается примерно в средней части заготовки, а при  $L/D = 10$  – ближе к правому концу заготовки.

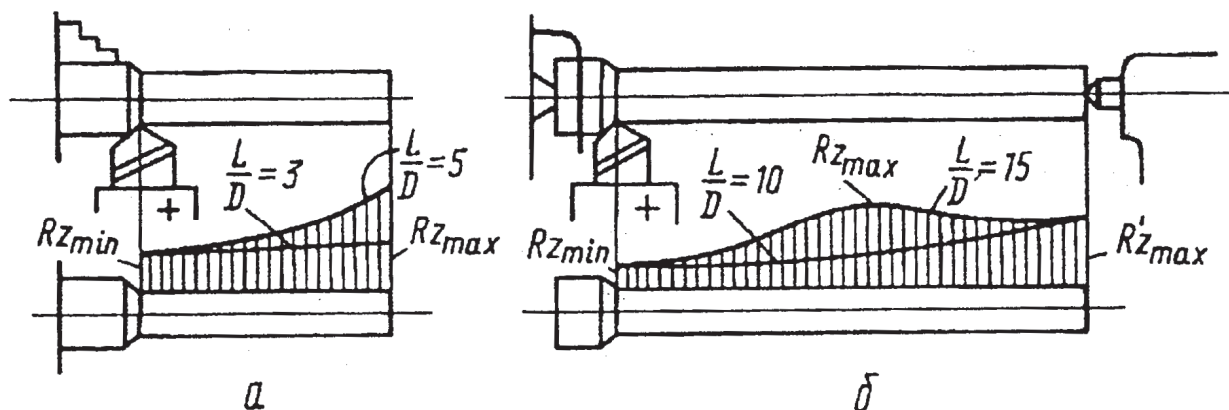


Рис. 5.10. Влияние жесткости системы на шероховатость поверхности

На практике все особенности обработки (режимы обработки, параметры инструмента, жесткость системы и др.) действуют на шероховатость одновременно. Поэтому трудно оценить результат действия всех факторов. На помощь приходят эмпирические формулы. В качестве примера приведем эмпирическую формулу для определения  $Ra$  при точении [11]:

$$Ra = k_0 \frac{S^{k_1} (90 + \gamma)^{k_4}}{r^{k_2} v^{k_3}},$$

где  $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4$  – коэффициенты, выбираемые по табл. 5.3;  $S$  – подача, мм/об (0,05...0,43);  $r$  – радиус при вершине резца, мм (0,5...2);  $v$  – скорость резания, м/мин (2,8 ...71);  $\gamma$  – передний угол резца, град (- 40°...4°).

Таблица 5.3

Значения коэффициентов для вышеприведенной формулы

Обрабатываемый материал	$k_0$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
Ст3	0,01	0,65	0,6	0,5	1,9
Сталь 20	41,8	0,75	0,55	1,38	0,25
Сталь 45	7,0	0,85	0,65	0,36	0,15
Сталь 70	5,8	1,1	0,68	0,15	0,45

Существуют формулы, включающие другие параметры обработки (например, жесткость). Эмпирические формулы можно использовать для решения различных практических задач.

Предположим, что необходимо определить режимы алмазного выглаживания роликов диаметром 20 мм, изготовленных из хромистой подшипниковой стали, закаленных до твердости  $HRC$  63...64. Ролики предварительно обработаны с получением  $Rz = 8,0$  мкм. Необходимо получить  $Ra = 0,5$  мкм. Выглаживание производится на токарном станке. Схема выглаживания дана на рис. 5.11.

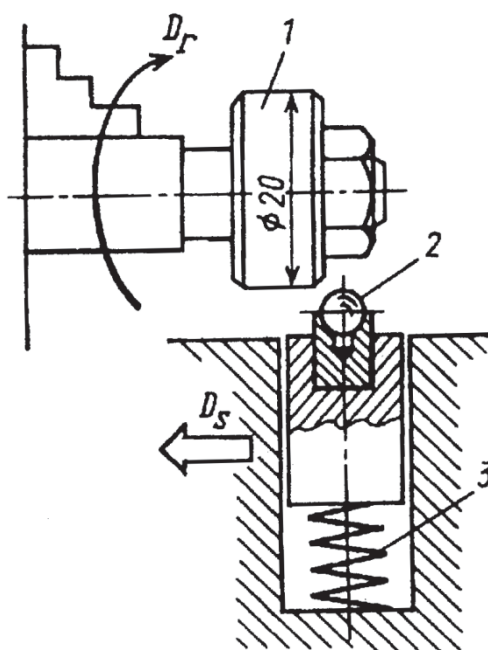


Рис. 5.11. Схема алмазного выглаживания

По условиям алмазного выглаживания максимальные напряжения в контакте ролика 1 и инструмента 2 не должны превосходить  $\sigma_{\max} = 8000$  МПа. Напряжения создаются действием пружины 3, имеющей возможность регулирования. Диаметр инструмента (алмаза)  $d_{\text{и}} = 3$  мм.

Для решения задачи необходимо выбрать эмпирическую формулу, в которую входят все (или почти все) заданные параметры:

$$Ra = 1,1 R_{z_{\max}}^{0,77} S^{0,14} v^{0,05} \left( \frac{\sigma_{\max}}{10} \right)^{-0,27} d_{\text{и}}^{-0,3},$$

где  $v$  – скорость на периферии ролика.

Преобразование формулы с учетом дополнительных данных позволяет получить зависимость для определения подачи  $S$ :

$$S = 5,1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{Ra^{7,14} \sigma_{\max}^2 d_{\text{и}}^{-2,14}}{R_{z_{\max}}^{5,5} v^{0,36}}.$$

После подстановки исходных данных получаем

$$S = 0,18 / v^{0,36}.$$

Поскольку  $v = \pi D n / 1000$  (где  $n$  – частота вращения шпинделя токарного станка), то  $S = 0,49 / n^{0,36}$ . Из условий стойкости алмазного инструмента следует, что  $v$  должно находиться пределах 10...70 м/мин.

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 10}{3,14 \cdot 20} = 159 \text{ мин}^{-1}; \quad n_{\max} = \frac{1000 \cdot 70}{3,14 \cdot 20} = 1115 \text{ мин}^{-1}.$$

Эти данные необходимо скорректировать по паспорту токарного станка. Теперь можно определить значения подачи  $S$  и занести их в таблицу, где сведены все значения  $n$  и  $S$ . При  $n = 630$  мин подача  $S$  должна составить 0,05 мм/об. В итоге можно рекомендовать пользоваться табличными данными, а в случае необходимости – значениями, полученными из эмпирических формул.

Шероховатость обработанной поверхности зависит от свойств обрабатываемого материала, метода обработки (точение, фрезерование, шлифование и др.), режима резания (подача, скорость резания), жесткости

системы СПИД, наличия вибраций, геометрии и износа инструмента, наличия или отсутствия смазочно-охлаждающей жидкости и др.

При точении на обработанной поверхности всегда остаются небольшие остаточные гребешки, высота которых зависит от величины подачи и геометрии резца (радиуса резца при вершине главного и вспомогательного углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$  и др.).

Общая высота микронеровностей складывается из расчетной (теоретической) части шероховатостей и шероховатостей, возникающих от технологических факторов. На рис. 5.12, а показана схема образования расчетной (теоретической) части шероховатости.

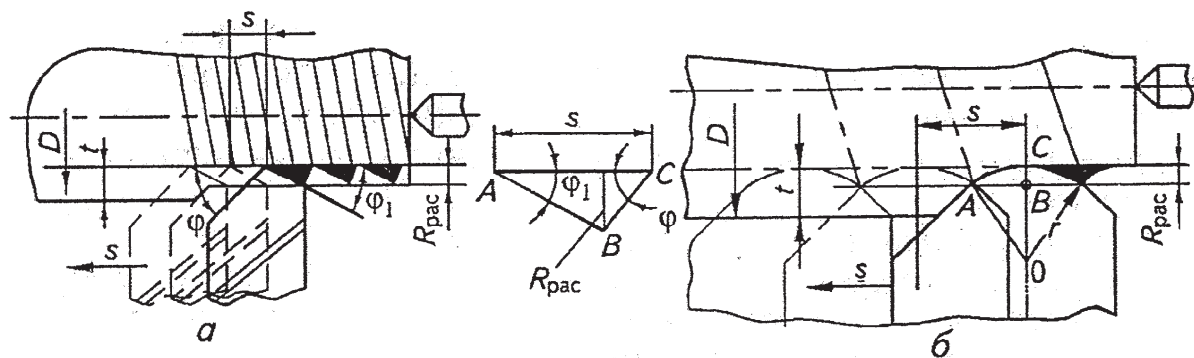


Рис. 5.12. Схемы образования шероховатостей:  
а, б – возможные варианты; D – диаметр детали; t – глубина резания

При обработке резцом, радиус при вершине которого  $r = 0$ , теоретическая высота гребешка определяется по формуле

$$R_{\text{рас}} = \frac{s \sin \varphi \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)},$$

где  $s$  – подача, мм/об;  $\varphi$  и  $\varphi_1$  – главный и вспомогательный углы в плане, град.

Формула получена следующим образом. Из теоремы синусов следует, что

$$\frac{s}{\sin[180 - (\varphi + \varphi_1)]} = \frac{AB}{\sin \varphi}.$$

Зная AB, получаем из треугольника ABC величину  $R_{\text{рас}}$ . При  $r > 0$  расчетную высоту гребешка находим (см. рис. 5.12, б) из выражения

$$R_{\text{рас}} = CB = OC - OB = r - \sqrt{r^2 - \frac{s^2}{4}},$$

или

$$R_{\text{рас}}^2 - 2R_{\text{рас}}r + r^2 = r^2 - \frac{s^2}{4}.$$

Обычно значение  $R_{\text{рас}}$  мало и его квадратом можно пренебречь.

Тогда

$$R_{\text{рас}} \simeq \frac{s^2}{8r}.$$

Таким образом, высота гребешков при точении весьма значительно зависит от величины  $S$ . Приведенные зависимости  $R_{\text{рас}}$  являются приближенными, так как не учитывается влияние технологических факторов, поэтому технологам приходится пользоваться дополнительными справочными материалами (в виде таблиц, графиков), по которым можно определить требуемую шероховатость поверхности.

#### 5.4. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ

Физико-механические свойства в поверхностных слоях заготовок и деталей машин всегда отличаются от свойств в сердцевине. Это объясняется особенностями процессов, происходящих при изготовлении заготовок и деталей. Например, поверхности поковок испытывают воздействие штампов, молотов и других частей оборудования; условия охлаждения отливок на поверхности отличаются от условий охлаждения в центре; воздействие режущего инструмента на поверхности и в центре деталей также различно. На это весьма убедительно указывает распределение твердости по глубине поверхностного слоя. Поверхностный слой  $1$  на рис. 5.13 выделен условно. В действительности граница между слоем  $1$  и сердцевиной  $2$  размыта.

В средней части поверхностного слоя также условно показана граница (пунктирная линия), разделяющая слой на две части. Часть слоя, расположенная ближе к поверхности, характеризуется, например, раздробленностью кристаллитов при изготовлении заготовки.

Твердость этого слоя оказывается наиболее высокой, затем она резко снижается и остается постоянной в слое 2. Высокая твердость частиц металла при раздробленности кристаллитов отрицательно характеризует качество поверхностного слоя.

В части слоя 1, расположенной ближе к сердцевине, наблюдается упорядоченность расположения отдельных кристаллитов от действия инструмента, снижается количество дефектов и т. д.

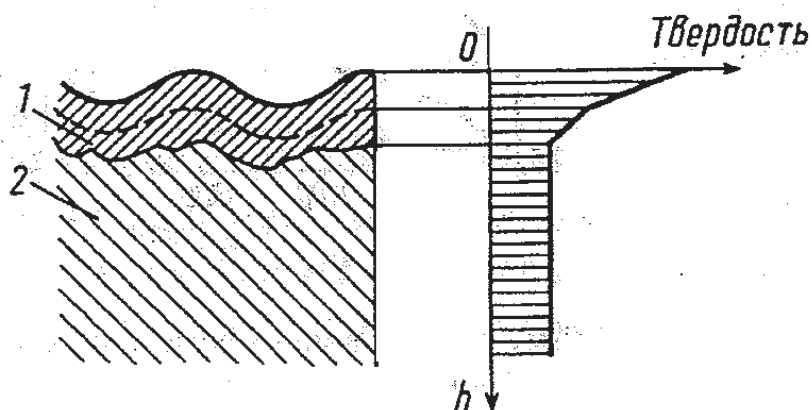


Рис. 5.13. Изменение твердости по глубине поверхностного слоя

Поверхностный слой всегда имеет напряжения, отличные от напряжений, возникающих в сердцевине материала детали. Это обстоятельство решающим образом сказывается на служебных свойствах изделий. Особенно отчетливо проявляется действие напряжений поверхностного слоя на выносливость деталей (рис. 5.14, а). При различных значениях временного сопротивления  $\sigma_b$  допустимое напряжение  $\sigma_{-1}$  при симметричном цикле знакопеременного нагружения оказывается различным. Кривая 1 дана для гладкого образца, 2 – для образца с уступом. Эти две кривые характеризуют конструктивные формы деталей. Если же на образцах имеется надрез, то допустимое напряжение  $\sigma_{-1}$  существенно снижается (кривая 3). Надрезом является не только случайная риска на поверхности, но и наиболее глубокая впадина микропрофиля. Так,



оказываются тесно связанными напряжения поверхностных слоев и микропрофиль поверхности. Особенно опасны надрезы в виде трещин, образующихся в ходе термической обработки.

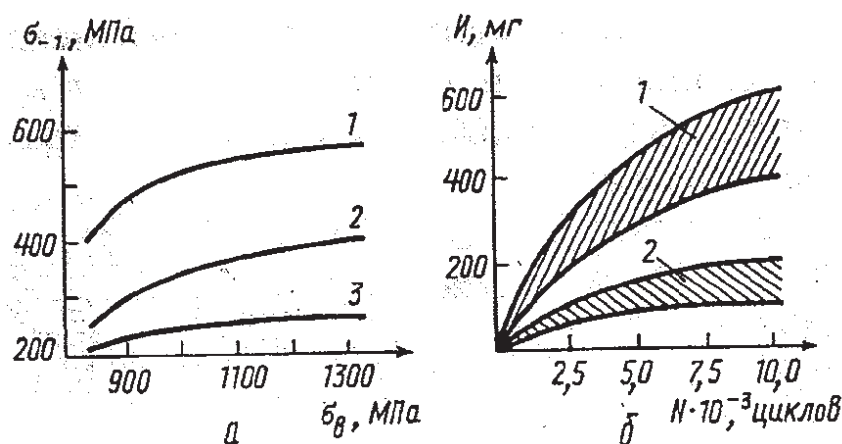


Рис. 5.14. Зависимости служебных свойств деталей от характеристик поверхностного слоя

Наклеп, возникающий в поверхностных слоях, существенно влияет на износ деталей. Графики на рис. 5.14, б показывают износ И двух образцов, выполненных из стали 40Х, совершающих возвратно-поступательное движение со средней скоростью 0,4 м/с. Зона 1 характеризует рассеяние показателей износа для ненаклепанных образцов, а зона 2 – для наклепанных. Разница износов оказывается ощутимой. Одновременно можно сделать вывод о том, что напряжения сжатия повышают износостойкость. Этот вывод особенно важен для построения ТП и разработки маршрутов.

Величина и знак напряжений поверхностного слоя целиком определяются методом обработки. Если в результате проведения ТП в слое образовались растягивающие напряжения (рис. 5.15, а), то они могут складываться с напряжением, возникающим в детали при ее нагружении в ходе эксплуатации машины, что может привести к снижению прочностных свойств и даже поломке детали. Растягивающие напряжения чаще всего отрицательно действуют и на другие служебные характеристики детали. Поэтому надо выбрать такие методы обработки поверхностей, которые не создают, как правило, растягивающих напряжений.

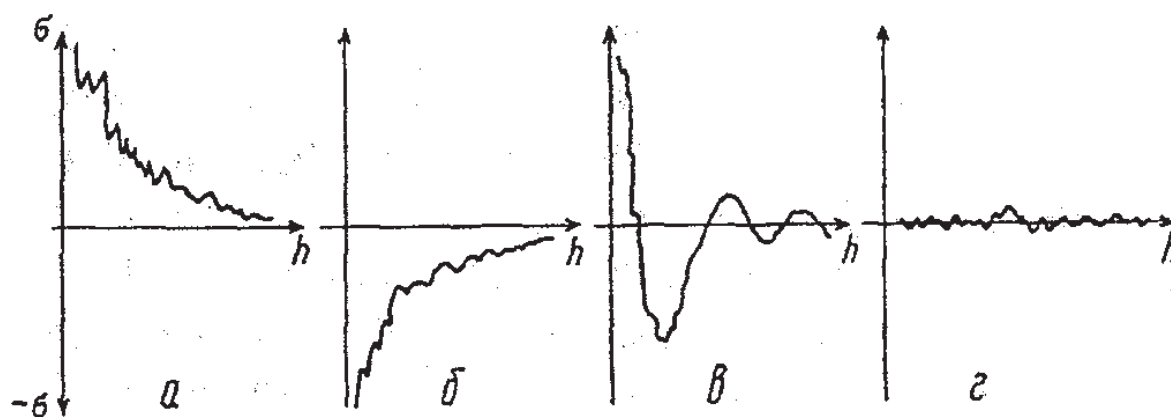


Рис. 5.15. Виды графиков напряжений поверхностных слоёв

Сжимающие напряжения (рис. 5.15, *б*) положительно влияют на служебные свойства деталей (выносливость и износостойкость), поэтому следует отдавать предпочтение методам обработки, способствующим возникновению этих напряжений.

Для большинства методов обработки, кроме специальных, характерно распределение напряжений, показанное на рис. 5.15, *в*. По глубине поверхностного слоя  $h$  всего в несколько десятых миллиметра напряжения могут несколько раз менять свой знак. Данный график наиболее характерен для шлифования. Но даже и для этого случая целесообразно отыскивать такие режимы и условия обработки, при которых кривая смещается в зону сжимающих напряжений.

К настоящему времени разработаны ТП, при которых в поверхностных слоях практически не возникают дополнительные напряжения, например метод электрохимической обработки (см. рис. 5.15, *г*). Однако чтобы получить такую поверхность, надо выполнить ряд дополнительных условий. Все графики, приведенные на рис. 5.15, получены с помощью самопишущих устройств специальной аппаратуры для определения напряжений.

Анализировать физико-механические свойства поверхностных слоев очень удобно с помощью приборов для определения микротвердости (рис. 5.16, *а*).

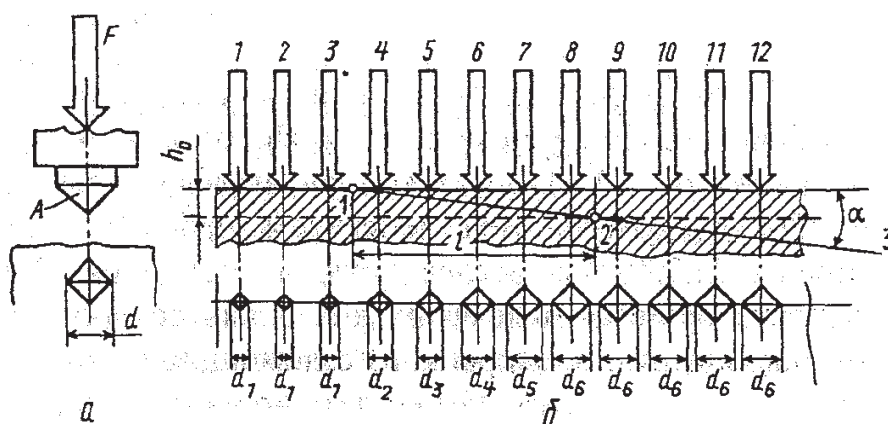


Рис. 5.16. Метод определения микротвердости и его применение

Алмазная пирамида с углом при вершине  $136^\circ$  внедряется под действием небольшой силы  $F$  (масса гирек 0,2...200 г) в исследуемую поверхность. При этом на поверхности остается отпечаток, диагональ которого  $d$  измеряют (при наблюдении в микроскоп) с помощью микрометрического отсчетного устройства. Отпечатки можно оставлять в различных зонах поверхности с учетом фазовых превращений, различных включений в металл, межкристаллитных участков и пр.

Этот же метод используют для определения глубины деформированного (наклепанного) слоя от различных технологических воздействий (рис. 5.16, б). Он получил название «метод косых срезов». На исследуемой поверхности делают косой шлиф (срез) под небольшим углом  $\alpha$  ( $30' \dots 2^\circ$ ) и производят в соответствии со схемой ряд отпечатков, последовательно измеряя диагонали. Например, первые три отпечатка показывают, что диагональ  $d_1$  не изменяется, а следовательно, не меняются и свойства поверхностного слоя в зоне расположения отпечатков. Когда же отпечатки располагаются в косом срезе, их диагонали начинают возрастать ( $d_2 > d_1$ ;  $d_3 > d_2$  и т. д.). Однако увеличение диагонали отпечатка в определенном месте прекращается. На схеме это происходит в позиции 8, когда диагональ отпечатка равна  $d_6$ . Изменение диагонали (с позиции 4 до позиции 8) свидетельствует, что свойства (твердость) поверхностного слоя на различной глубине различны, а начиная с позиции 2, отпечатки производятся в металле, свойства которого постоянны (сердцевина образца). Тогда глубина деформированного (наклепанного) слоя

$h_0 = 1 \text{ tg } \alpha$ . Глубина деформированного слоя, как правило, меньше одного миллиметра, но с помощью именно этого тонкого слоя во многих случаях удается управлять свойствами всей детали. В табл. 5.4 приведены средние значения глубины наклепанного слоя для различных методов обработки. Для служебного назначения детали важна не только глубина слоя, но и величина и знак напряжений.

Таблица 5.4

Глубина деформированного поверхностного слоя

Метод обработки	Глубина слоя, мм
Точение: черновое чистовое	0,2...0,5 0,05
Растачивание: черновое чистовое	0,2...0,5 0,05
Фрезерование: цилиндрическое торцевое черновое	0,12 0,2...0,5
Зубофрезерование: черновое чистовое	0,14 0,12
Шевингование	0,1
Сверление, зенкерование	0,15
Развертывание	0,2
Накатывание резьбы роликом	0,15...0,2
Шлифование: незакаленной стали закаленной стали	0,015...0,02 0,02...0,03
Дробеструйный наклеп	0,4...1,0
Обработка роликами	0,5...0,35

Для создания заданных физико-механических свойств в поверхностном слое используют различные технологические воздействия. Наибольшее значение для практики имеют методы создания сжимающих напряжений в поверхностных слоях.

Наклепывание поверхностей связано с пластическим деформированием, которое состоит в перемещении одних частей металла (слоев) по отношению к другим. Последнее связано с изменением кристаллической структуры металла.

В поликристаллах упрочнение вызывает увеличение сопротивления сдвигу по границам зерен.

Для ответственных деталей наибольшее распространение получила обдувка дробью, выполненной из различных материалов, обкатка роликами, чеканка. Дробинки, обладая определенной кинетической энергией, наносят по обрабатываемой поверхности огромное количество ударов, создавая в микрообъеме сжимающие напряжения. Максимальная скорость чугунной дроби достигает 90 м/с, стальной – 180 м/с. Диаметр дробинки составляет 0,4...2,0 мм.

Обкатывание роликами различной формы создает сжимающие напряжения и существенно повышает усталостную прочность деталей. Однако этот эффект может быть существенно ослаблен, если возникает перенаклеп (чрезмерный наклеп), при котором обрабатываемая поверхность начинает шелушиться. Обкатка роликами особенно благоприятна при получении резьб, работающих в условиях усталости.

## 5.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ И ВОЛНИСТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Применяют следующие основные способы определения шероховатости поверхности: по эталонам; приборами; при помощи слепков.

Основным методом цехового контроля шероховатости поверхности деталей машин является способ сравнения с эталонными и поверхностями (ГОСТ 9378–93) соответствующих классов, полученными тем же методом обработки, что и данная деталь. Кроме эталонных образцов при этом способе можно в качестве эталона использовать готовые детали, шероховатость поверхности которых аттестована. Способ применим для поверхностей, имеющих классы шероховатости 1...12. Причём сопоставление происходит для классов с 1-го по 6-й визуально, для 7-го класса – с помощью лупы с пятикратным увеличением, для классов 8...12 – при помощи микроскопа

сравнения, в котором изображения контролируемой поверхности и эталона находятся в поле одного и того же окуляра при увеличении в 10...50 раз.

В лабораторных условиях для оценки шероховатости поверхности применяют специальные приборы: профилометры-профилографы (ГОСТ 19300–86), двойной микроскоп, интерференционный микроскоп и др .

Принцип действия профилометра (рис. 5.17) основан на ощупывании профиля поверхности алмазной иглой, перемещаемой в направлении измерения.

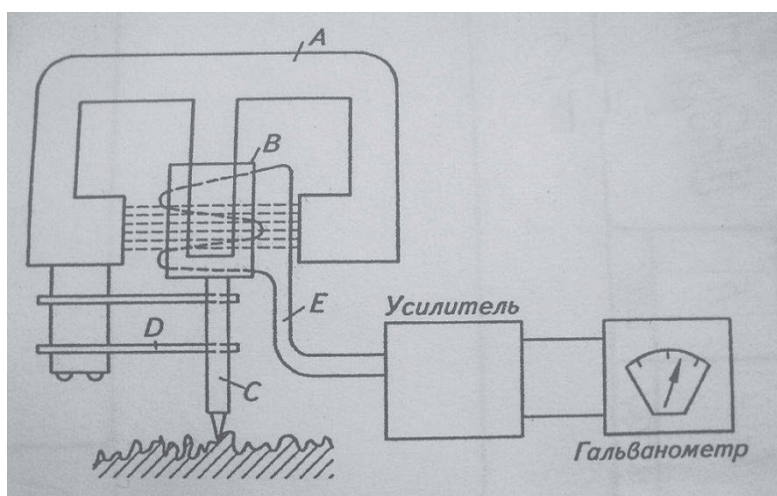


Рис 5.17. Схема прибора, основанного на ощупывании исследуемой поверхности алмазной иглой

Прибор снабжен головкой с алмазной иглой, которую вручную перемещают по исследуемой поверхности со скоростью 10...20 мм/с. Головка состоит из постоянного магнита А , в поле которого расположены подвижный сердечник В и обмотка Е. Из-за неровностей поверхности стержень С с алмазной иглой и подвижным сердечником совершает небольшие вертикальные колебания, преодолевая некоторое сопротивление плоских пружин D. В результате в обмотке Е возникает микроток , который поступает в усилитель, а затем в гальванометр, который оттарирован на величину  $R_a$ , мкм. На профилографах можно записать на бумажной ленте или фотопленке кривую микропрофиля в виде профилограммы, на основании которой обработкой результатов получают величину  $R_a$  или  $R_z$ .

Двойной микроскоп конструкции академика В. П. Линника (рис. 5.18) состоит из двух микроскопов, расположенных под углом  $45^\circ$  к поверхности образца. Луч источника света  $s$  (рис. 5.18 а) проходит через узкую щель и производит световое сечение исследуемой поверхности под углом  $\alpha = 45^\circ$  к вертикали. Отражаясь от исследуемой поверхности, луч попадает в окуляр. Световое сечение неровностей показано на рис. 5.18, б. Вертикальные размеры неровностей оказываются увеличенными в  $1/\cos 45^\circ \approx 1,42$  раза. Это увеличение учитывают с помощью микроскопа. Общее увеличение микроскопа 40...280. В визуальном тубусе видны увеличенные микронеровности (рис. 5.19).

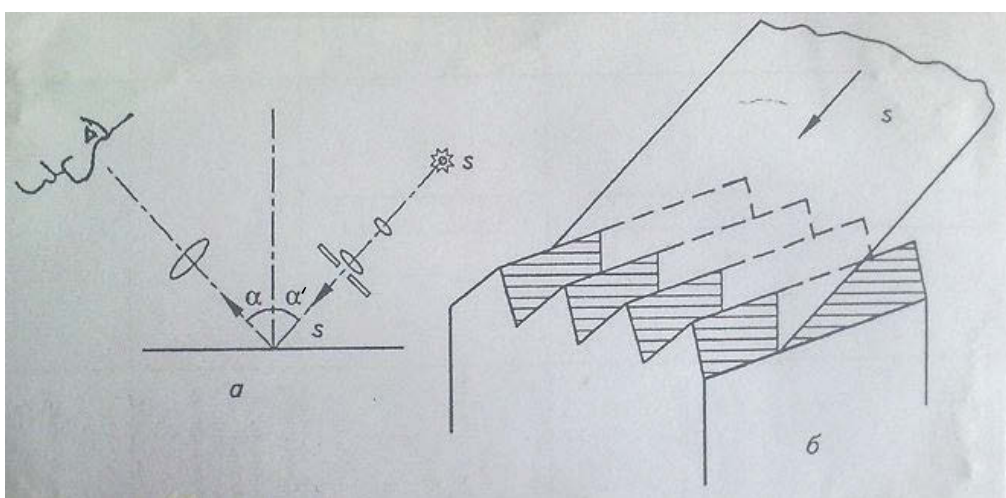


Рис. 5.18. Схема действия двойного микроскопа академика А. Н. Линника

Пользуясь микрометрическими винтами на столе микроскопа и визирной линией  $a$ , можно измерить высоту неровностей  $R_z$ , размещая образец так, чтобы визирная линия находилась на вершине и впадине неровностей (положения  $a$  и  $a'$ ). Микроскоп применяют для оценки шероховатости поверхности 3...9-го классов.

Принцип действия интерферометра для оценки шероховатости поверхности основан на использовании явления интерференции света. Оценку шероховатости поверхности по искривлению интерференционных полос проводят в зависимости от профиля микронеровностей. Способ применяют для оценки шероховатости поверхности 10...14-го классов.

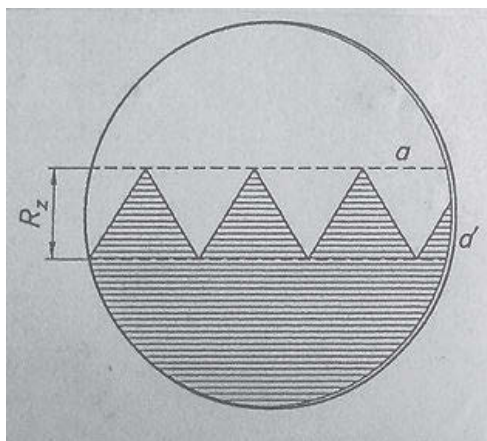


Рис.5.19. Схема определения высоты неровностей в двойном микроскопе В. Н. Линника

Способ слепков применяют для оценки шероховатости поверхности в труднодоступных местах (например, в отверстиях). Материалом для слепка может служить кусочек целлулоида (например, 20×20 мм), который для размягчения опускают на 2 – 3 мин в ацетон, затем его прикладывают с определенным усилием к исследуемой поверхности, после чего сушат 10...15 мин (в зависимости от шероховатости обработанной поверхности). По слепку определяют шероховатость поверхности одним из оптических методов. Правда, есть составы для слепков, которые можно применять и при их ощупывании алмазной иглой.

Волнистость поверхности измеряют на профилографах (при этом увеличивают базовую длину замеров и применяют более тупую алмазную иглу), а также на специальных приборах. В некоторых случаях волнистость оценивают на оптиметрах и микронными индикаторами.

Разработанные в последние десятилетия приборы позволяют значительно уменьшить трудоемкость измерения шероховатости и повысить достоверность результатов. На успешно работающих металлообрабатывающих предприятиях России используется прибор «Сартроник-10» фирмы Rank Taylor Hobson Limited (Англия). Это устройство, работающее на батарейке и удерживаемое в руке (рис. 5.20), может использоваться на любой высоте для измерения текстуры поверхности.



Одна модель рассчитана на цифровую оценку шероховатости поверхности по параметру  $Ra$ , другая – по  $Rz$ . Размер прибора:  $105 \times 61 \times 17,5$  мм. Масса – 130 г. Измерительный диапазон:  $0,1 \dots 40$  ( $1 \dots 1600$  мкдюйм). Погрешность – 5 % от счета  $+0,1$  мкм. Максимальная нагрузка мерительного штифта – 10 мН (1 г). Тип датчика – пьезоэлектрический.

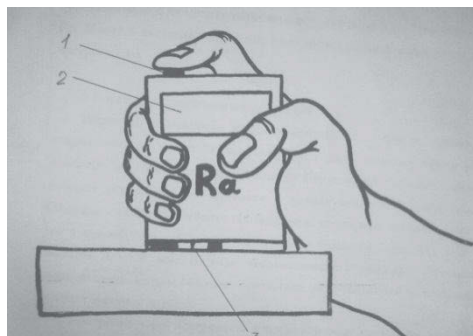


Рис.5.20. Установка прибора «Сартроник-10Ra» на измеряемую поверхность: 1 – пусковая кнопка; 2 – табло прибора; 3 – мерительный штифт

Другим успешно применяемым прибором для измерения шероховатости является устройство управляющего контроля ЛАК-14-УПИ [12], разработанное на кафедре «Технология машиностроения» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (патент на изобретение № 2284466) (рис. 5.21). Имеется световая индикация, если шероховатость выходит за пределы настроенного.

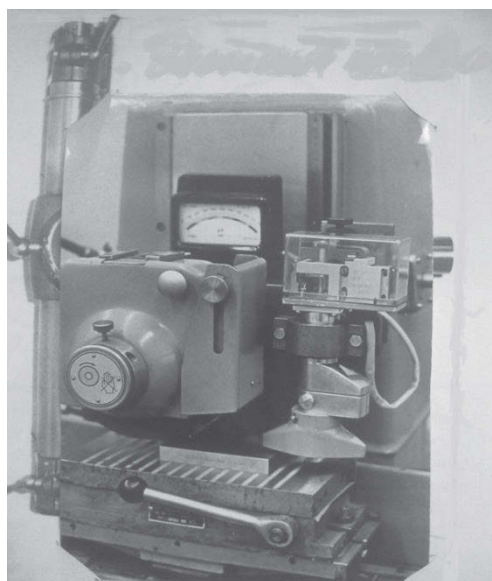


Рис. 5.21. Прибор ЛАК-14-УПИ для измерения шероховатости (параметра  $Ra$ )

## 5.6. КОНТРОЛЬ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Твердость поверхности деталей во избежание их повреждения не может быть проконтролирована непосредственно на этих поверхностях. Для контроля используют специальные образцы-свидетели, которые отрезаются от заготовки в начале технологического процесса. Образцы-свидетели изготавливаются в виде цилиндров диаметром 10...12 мм и длиной 20...100 мм, а также в виде шайб диаметров 25...30 мм и высотой 6...8 мм. В ходе технологического процесса изготовления деталей образцы-свидетели обрабатываются одновременно с изготавливаемой деталью.

Контролируемая поверхность в месте контроля должна быть зачищена шлифовальной шкуркой (ГОСТ 10054–82) последовательно в два приема: сначала шкуркой с абразивным зерном из карбида кремния зеленого зернистостью M28, затем – зернистостью M20.

Твердость поверхностей после закалки ТВЧ или цементации при толщине слоя не более 0,4 мм контролируют по Роквеллу (ГОСТ 9013–59) на твердомерах типа ТК.

Оценка твердости производится по результатам не менее трех измерений на каждом образце-свидетеле.

Твердость поверхностей после закалки ТВЧ или цементации при толщине слоя не менее 0,4 мм, а также твердость поверхностей после азотирования контролируют по Виккерсу (ГОСТ 2999–75) на приборах типа ТП. Допускается использовать приборы типа ПМТ (ГОСТ 9450–76).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Чем определяется качество поверхности?
2. Что такое шероховатость поверхности?
3. Перечислите параметры шероховатости поверхности?

4. Всегда ли при оценке шероховатости используют все названные параметры?
5. Дайте определение основных параметров шероховатости поверхности.
6. Какова зависимость между  $Ra$  и  $Rz$ ?
7. Сколько по ГОСТу существует классов шероховатости поверхностей?
8. Какие факторы влияют на шероховатость поверхности?
9. Физико-механические свойства в поверхностных слоях.
10. Зависимость служебных свойств деталей от характеристики поверхностного слоя.
11. Какие существуют основные методы определения шероховатости поверхности?
12. Какие существуют новые методы и приборы для определения шероховатости?
13. Как взаимосвязаны точность и шероховатость поверхности детали?
14. Какие применяются технологические методы повышения качества поверхностного слоя деталей?

## 6. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ (СТАНОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ)

### 6.1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Станочные приспособления – дополнительные устройства к станкам, предназначенные для закрепления обрабатываемых деталей и инструмента. Устройства для крепления режущих инструментов называют также вспомогательным инструментом. К ним относятся различные резцедержатели, борштанги, переходные втулки для сверл и т. д. [13].

Применение приспособлений при обработке деталей обеспечивает повышение точности обработки деталей; сокращение вспомогательного времени (на установку и снятие заготовки), что несколько повышает производительность обработки; устранение трудоемкой операции – разметки перед обработкой, что ускоряет и удешевляет процесс обработки детали. Кроме того, снижаются требования к квалификации рабочего, что ведет к снижению затрат на рабочую силу; в некоторых случаях создаются условия для многостаночного обслуживания, т. е. повышается производительность обработки; появляется возможность увеличить число одновременно обрабатываемых на станке деталей путем использования многоместных приспособлений, что повышает производительность обработки; создается возможность совмещения вспомогательного времени (установка и снятие заготовки) с основным благодаря применению многоместных приспособлений, что существенно повышает производительность обработки.

Приспособления классифицируют по типу станков и по степени специализации.

По типу станков приспособления различают для токарных, сверлильных, фрезерных, строгальных, протяжных, зубообрабатывающих и других станков.

По степени специализации приспособления бывают универсальные, универсально-наладочные и специальные.

Универсальные приспособления потребитель может заказать вместе с универсальным станком. Применительно к токарным и круглошлифовальным станкам – это центры, патроны, люнеты, для фрезерных станков – станочные тиски, делительные головки. Эти приспособления применяют в единичном и серийном производстве.

Универсально-наладочные приспособления применяют при серийном производстве. К ним относятся, например, патроны со сменными кулачками, тиски со сменными губками и др. Эти приспособления легко перестраивать при переходе к обработке другой партии деталей.

## 6.2. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И МЕХАНИЗМЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

К основным элементам и механизмам приспособлений относятся корпуса и плиты – базовые элементы приспособлений; установочные – определяющие положение заготовки относительно режущего инструмента; зажимающие – для закрепления заготовки; направляющие и настроечные – для направления инструмента в процессе обработки или для установки его в нужном положении относительно заготовки; делительные и поворотные устройства, фиксаторы – для изменения и фиксации положения заготовки относительно режущего инструмента; механизмы привода – для создания усилий зажима заготовки.

В конкретных случаях отдельные перечисленные элементы и механизмы могут отсутствовать.

Корпуса приспособлений делают из отливок (специальных или нормализованных), сварными, из нормализованных чугуновых профилей (угольников, швеллеров, двутавров, плит и др.). Наиболее удобны жесткие корпуса из отливок. Сварные конструкции приспособлений дешевле литых на 30...35 %, их изготовление требует меньше времени.

К установочным деталям и механизмам относятся опорные штыри и пластины, регулируемые опоры; подвижные (плавающие, самоустанавливающиеся) опоры; упорные пластины, установочные пальцы и призмы.

Опорные штыри (одноточечные опоры) показаны на рис. 6.1.

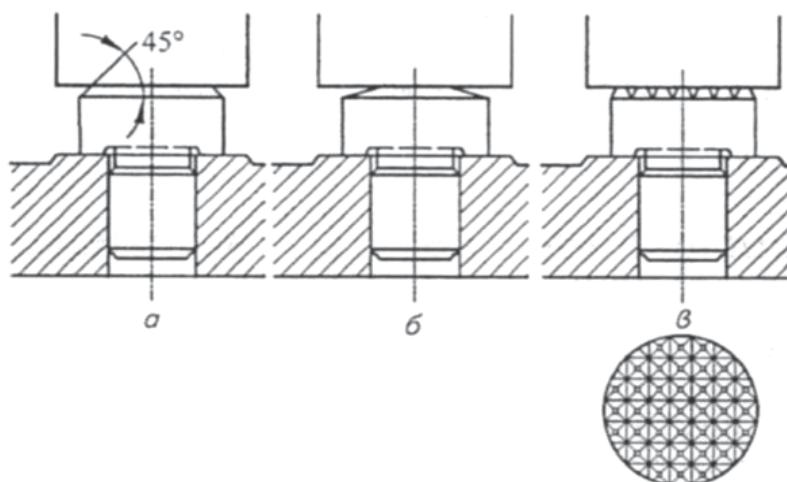


Рис. 6.1. Опорные штыри: *а, б, в* – варианты

При базировании по черновым (необработанным) базам применяют штыри со сферической опорной поверхностью (рис. 6.1, *б*) и штыри с рифлениями на рабочей поверхности (рис. 6.1, *в*), а при базировании по обработанной поверхности – с плоской головкой (рис. 6.1, *а*). Опорные пластины без канавок (рис. 6.2, *а*) и с канавками (рис. 6.2, *б*) используют при установке крупных заготовок по обработанным поверхностям. Пластины крепят к корпусу приспособлений винтами. Косые канавки глубиной 1...3 мм способствуют очистке пластины от стружки.

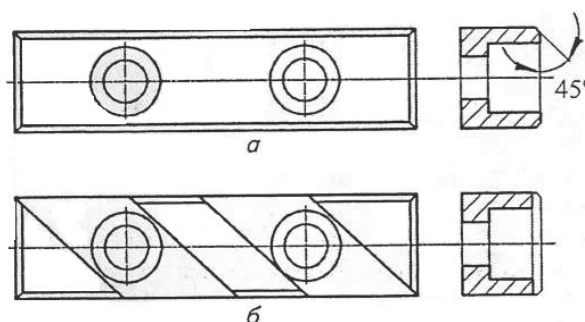


Рис. 6.2. Опорные пластины: *а, б* – варианты

На рис. 6.3 показана регулируемая опора 1, которую можно поднимать (или опускать) и закреплять гайкой 2. Регулируемые опоры применяют для установки необработанных заготовок, если их установочная поверхность имеет

отклонения (например, при установке разных партий заготовок). Эти опоры применяют в условиях мелкосерийного и серийного производства.

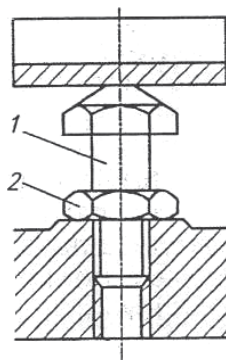


Рис. 6.3. Регулируемая опора

Подвижные опоры применяются для уменьшения упругих деформаций заготовки (придания ей большей жесткости). Подвижные опоры бывают самоустанавливающиеся (рис. 6.4, а) и подводящиеся (рис. 6.4, б). В самоустанавливающейся опоре при отвертывании винта 1 опорный плунжер 2 под действием пружины поднимается до соприкосновения с деталью. В этот момент его закрепляют, завертывая винт 1. В подводящейся опоре (рис. 6.4, б) ее подводят под деталь и зажимают крепежной гайкой.

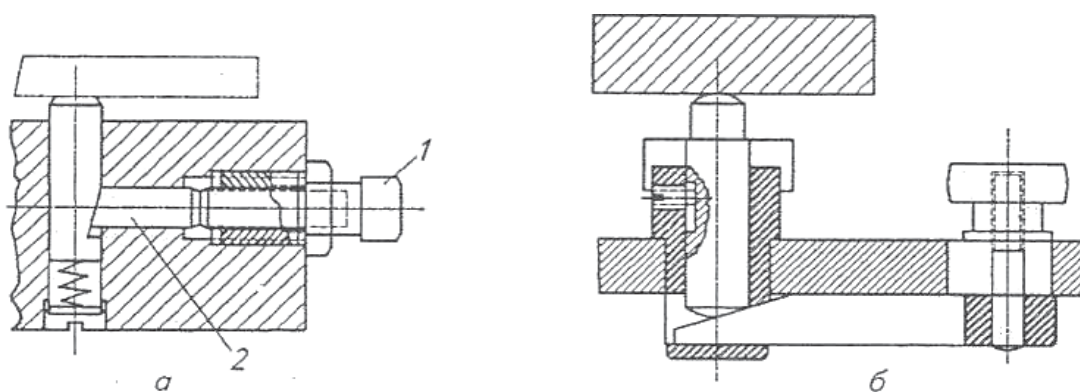


Рис. 6.4. Примеры самоустанавливающейся (а) и подводящейся опор (б)

На рис. 6.5 показана схема установки заготовки при помощи упорных пластин.

Установочные пальцы применяют при базировании заготовки по одному (рис. 6.6, а) или двум обработанным отверстиям. При наличии двух

установочных пальцев один из них имеет срезанные бока (рис. 6.6, б), что облегчает установку заготовки и расширяет поле допуска на межосевое расстояние между ее отверстиями. Базирование по плоскости и двум отверстиям часто применяют при обработке корпусных деталей.

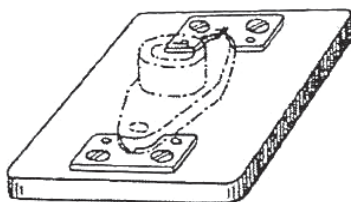


Рис. 6.5. Упорные пластины

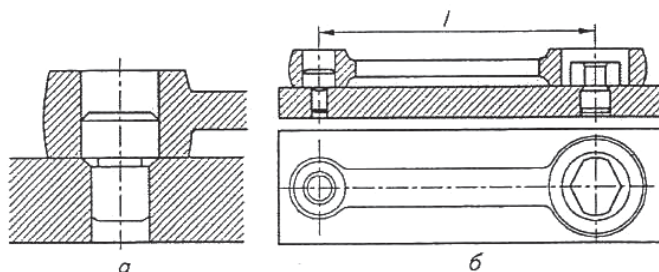


Рис. 6.6. Установочные пальцы: а – один; б – два

Призмы (часто парой) применяют при установке неподвижных заготовок – валов (рис. 6.7) при их фрезеровании и центровке на фрезерно-центровальных станках, при фрезеровании шпоночных канавок и сверлении отверстий (перпендикулярных оси) на валах. Призмы изготавливают с углом  $\alpha = 90^\circ$ , реже – с углами  $60^\circ$  и  $120^\circ$ .

Зажимающие детали и механизмы обеспечивают прилегание обрабатываемой заготовки к установочным элементам приспособления. Важное требование к зажимам – создание в заготовке напряжений сжатия и исключение появления значительных изгибающих моментов, а следовательно, деформаций заготовки.

Зажимающие устройства могут быть ручными и механизированными. К ручным зажимам относятся винтовой, эксцентриковый, а также различные прихваты. Большинство ручных зажимов просты по конструкции, но не обладают быстроедействием.

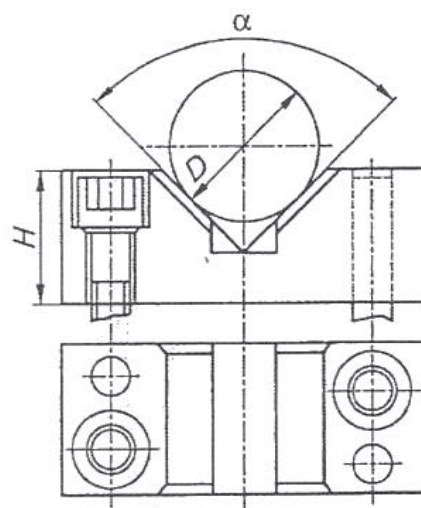


Рис. 6.7. Конструкция призмы



На рис. 6.8 показан пример винтового зажима с двумя рукоятками. Машинные тиски также являются одной из разновидностей винтового зажима.

Схема зажима круглым эксцентриком приведена на рис. 6.9.

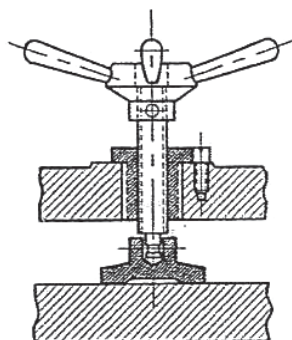


Рис. 6.8. Пример винтового зажима

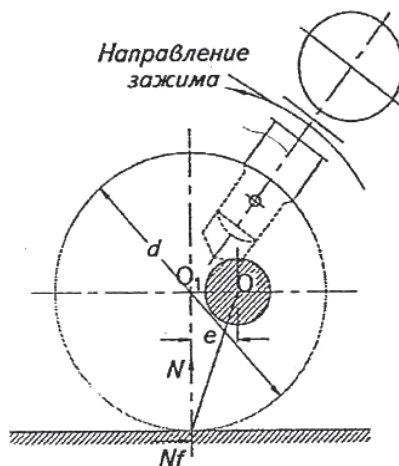


Рис. 6.9. Схема зажима круглым эксцентриком

Уравнение равновесия после окончания зажима без учета усилий трений в подшипниках имеет вид

$$Ne - fN \frac{d}{2} = 0,$$

где  $N$  – сила зажима;  $e$  – эксцентриситет;  $f$  – коэффициент трения;  $d$  – диаметр эксцентрика.

В этом случае

$$e = \frac{fd}{2}.$$

Если принять  $f \approx 0,1$ , то

$$e \leq \frac{1}{20} d.$$

С учетом трения в подшипниках условие самоторможения выглядит так:

$$e \leq \frac{1}{25} d.$$

Это условие ограничивает рабочую высоту подъема эксцентрика. Другой недостаток эксцентрикового зажима – непостоянство тормозных моментов при различных положениях эксцентрика. Эксцентриковый зажим является

быстродействующим. Ограничением для его использования являются случаи, когда размер заготовки имеет значительный допуск и при наличии сильных вибраций может произойти саморазжатие зажима.

Применяют также криволинейные эксцентрики, очерченные, например, по спирали Архимеда.

Прихваты широко применяют при закреплении заготовок на фрезерных и строгальных станках в условиях единичного и мелкосерийного производства. Одна из разновидностей прихвата показана на рис. 6.10.

Изготавливают его из стальной полосы.

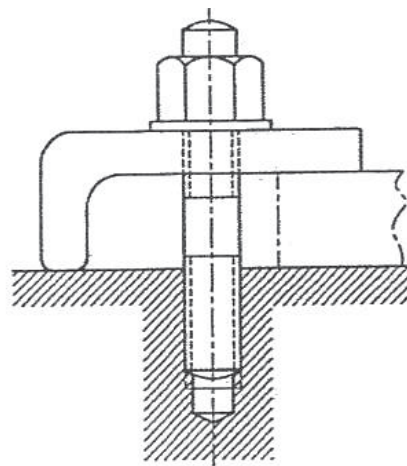


Рис. 6.10. Пример простейшего прихвата

К направляющим и настроечным элементам относятся втулки для сверл (зенкеров, разверток) в кондукторах для сверлильных станков, от расположения которых зависит место обработки заготовок, а также габариты, определяющие положение фрез при обработке некоторых поверхностей.

На рис. 6.11, а, б приведены постоянные кондукторные втулки, которые запрессовывают в кондукторные плиты или корпуса приспособлений. В серийном и массовом производстве применяют сменные втулки (рис. 6.11, в), которые легко заменить при износе и повреждении. Для смены такой втулки отвертывают крепежный винт, извлекают втулку, заменяют ее новой и опять фиксируют винтом. Кроме того, в массовом производстве часто используют быстросменные втулки (рис. 6.11, г), которые можно ставить и снимать без отвинчивания крепежного винта. Втулки имеют вторую, но сквозную выемку по всей высоте буртика. Для извлечения втулки ее надо повернуть до совпадения головки винта с этой выемкой. Кондукторные втулки изготавливают из высокоуглеродистых инструментальных сталей У10, У12, закаленных до HRC 60...64. Крупные втулки делают из малоуглеродистой стали, подвергнутой цементации и закалке на указанную твердость, иногда из стали ХВГ.

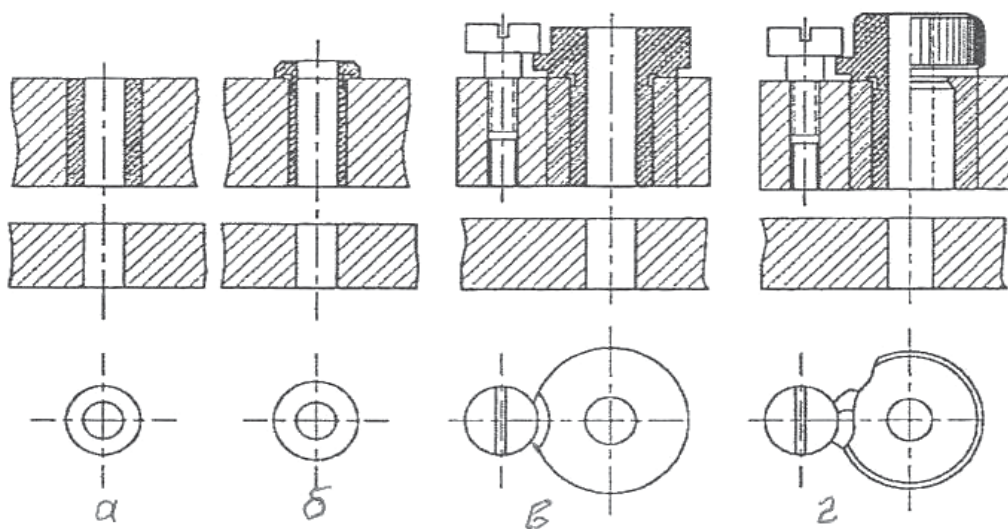


Рис. 6.11. Кондукторные втулки

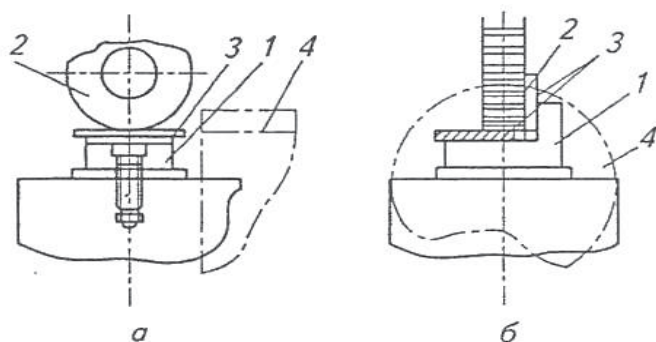


Рис. 6.12. Схема установки фрезы: по высоте (а):  
1 – пластинчатый габарит; 2 – фреза; 3 – щуп;  
4 – деталь; по высоте и в поперечном направлении  
(б): 1 – угловой габарит; 2 – дисковая фреза;  
3 – щуп; 4 – деталь

Габариты применяют для правильной установки фрезы относительно заготовки при фрезеровании. На рис. 6.12, а приведены схемы установки фрезы 2 по высоте для обработки плоскости детали 4. Здесь 1 – пластинчатый габарит, 3 – щуп. На рис. 6.12, б показана схема установки дисковой фрезы по

высоте и в поперечном направлении при фрезеровании шпоночного паза.

Механизмы привода служат для создания усилий зажима заготовок. Из механизированных устройств для зажима заготовок широко применяют пневмопривод. Это объясняется его быстродействием (достаточно одного поворота рукоятки распределительного крана). Кроме того, пневмозажим обеспечивает постоянство усилия зажима и возможность его регулирования редукционным краном.

Реже в приспособлениях используют гидропривод из-за его сложности и дороговизны, хотя он и обладает рядом достоинств по сравнению с

пневмоприводом. Это прежде всего компактность вследствие высоких давлений жидкости с использованием рабочих цилиндров малых размеров. Находят применение пневмогидравлические приводы.

*Пневматические приводы* бывают поршневые и диафрагменные. Поршневые приводы применяют, когда необходим большой ход штока.

Схема пневмопривода зажимного устройства приведена на рис. 6.13. Водоотделитель 1 представляет собой резервуар (часто с лабиринтом для воздуха), в котором поступающий из сети воздух расширяется и выделяет влагу, периодически сливающуюся через нижний кран. В водоотделителе может быть размещена металлическая сетка для очистки воздуха от пыли.

Редукционный клапан 2 поддерживает заданное давление в системе, которое регулируется верхним болтом путем изменения натяжения пружины. Манометр 3 фиксирует давление в системе. Масленка 4 служит для внесения в воздух мелкораспыленного масла для смазывания внутренних поверхностей распределительного крана 6 и рабочего цилиндра 7.

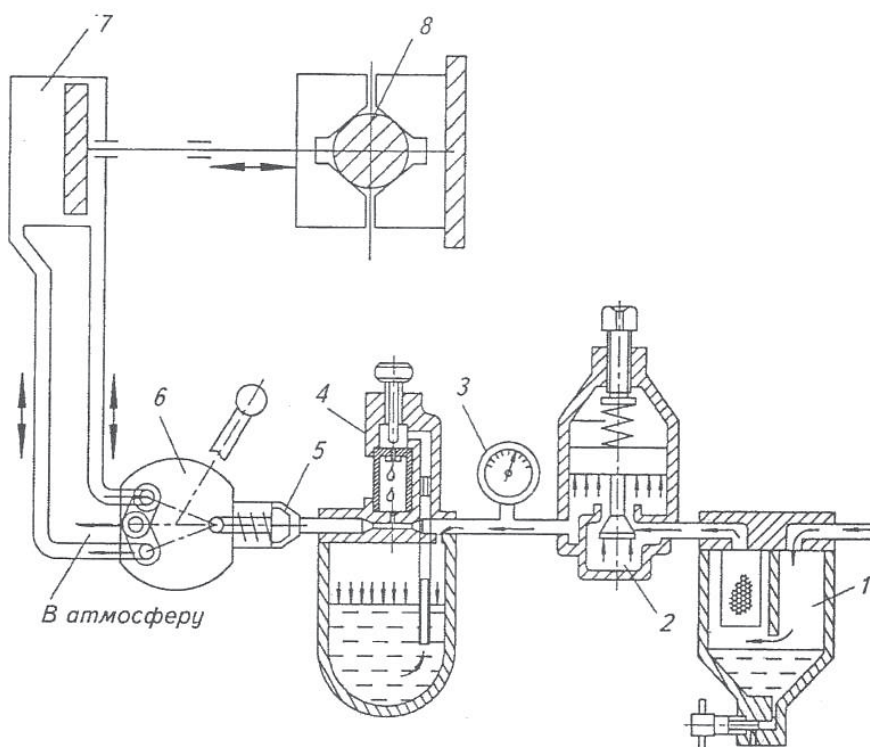


Рис. 6.13. Схема пневматического привода зажимного устройства

Масленка 4 работает следующим образом. Воздух под давлением поступает в резервуар с маслом и вытесняет его по трубке вверх в форсунку, где он распыляется и в отверстии центрального прохода смешивается с основной струей воздуха. Обратный клапан 5 закрывает выход воздуха из магистрали привода при падении давления в сети. Распределительный кран 6 часто управляется вручную рукояткой. Он направляет сжатый воздух либо в правую, либо в левую часть рабочего цилиндра, в результате чего деталь 8 зажимается или разжимается. При создании давления в правой (левой) части рабочего цилиндра поршень со штоком и зажим движутся влево (вправо) и воздух из левой (правой) части рабочего цилиндра через распределительный кран уходит в атмосферу. Возможно управление распределительным устройством механическим (от перемещающихся упоров на станках), электрическим или гидравлическим способом. Пневматические цилиндры выпускают с внутренними диаметрами 50, 75, 105, 150, 200, 250 и 300 мм.

На рис. 6.14 показаны схемы диафрагменного пневматического привода одностороннего (рис. 6.14, а) и двустороннего действия (рис. 6.14, б). В первом случае сжатый воздух, поступая в верхнюю часть камеры и воздействуя на гибкую диафрагму 3, осуществляет рабочий ход штока. Обратный ход штока происходит под действием пружины 5. Во втором случае прямой и обратный ходы штока происходят под действием сжатого воздуха, поступающего поочередно в верхнюю или нижнюю часть камеры привода.

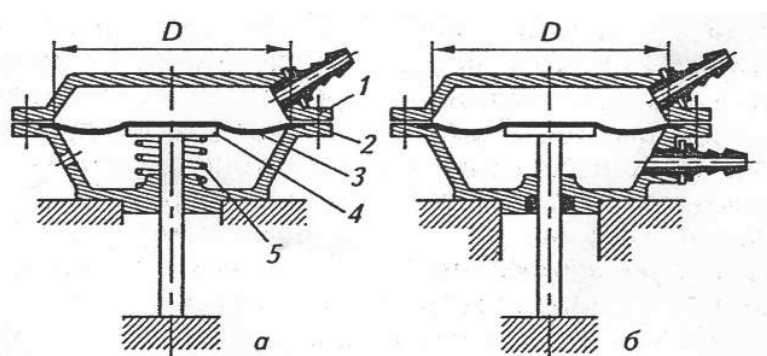


Рис. 6.14. Схемы диафрагменного пневматического привода:

одностороннего действия (а) и двустороннего действия (б); 1 – крышка; 2 – корпус;

3 – гибкая диафрагма; 4 – тарелка штока; 5 – пружина

В пневмогидравлическом приводе (рис. 6.15) сжатый воздух из цеховой сети поступает в пневмоцилиндр низкого давления и перемещает влево поршень 1 и шток 2, который одновременно является поршнем гидроцилиндра высокого давления. Поршень 3 рабочего гидроцилиндра зажимает заготовку с силой  $Q$ .

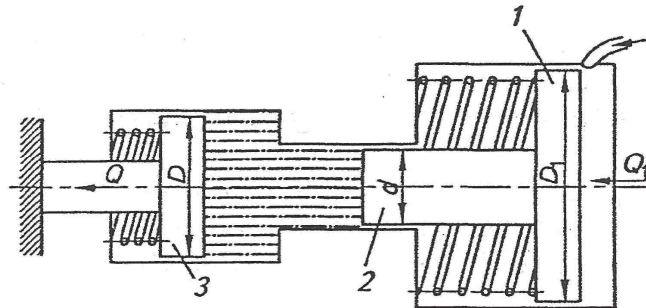


Рис. 6.15. Схема пневмогидравлической камеры

Сила на пневмоцилиндре

$$Q_1 = p_v \frac{\pi D_1^2}{4},$$

где  $p_v$  – давление воздуха в трубопроводе;  $D$  – диаметр поршня пневмоцилиндра.

Сила на штоке рабочего цилиндра

$$Q = Q_1 \left( \frac{D}{d} \right)^2 \eta,$$

где  $\eta$  – КПД привода,  $\eta = 0,8 \dots 0,85$ .

При  $D = 80$  мм и  $d = 40$  мм получаем

$$Q = Q_1 \left( \frac{80}{40} \right)^2 \eta = 4Q_1 \eta.$$

Таким образом, выигрыш в силе составил почти 4 раза.

В приспособлениях часто применяют механизмы, выполняющие одновременно установочные и зажимные функции.

К ним относятся призматические центрирующие механизмы, патроны (трехкулачковые, цанговые, мембранные), зажимные приспособления с гидропластом, а также обычные центры.

Схемы применения центрирующих призматических механизмов приведены на рис. 6.16. Подвижная призма 1 (рис. 6.16, а) зажимает деталь.



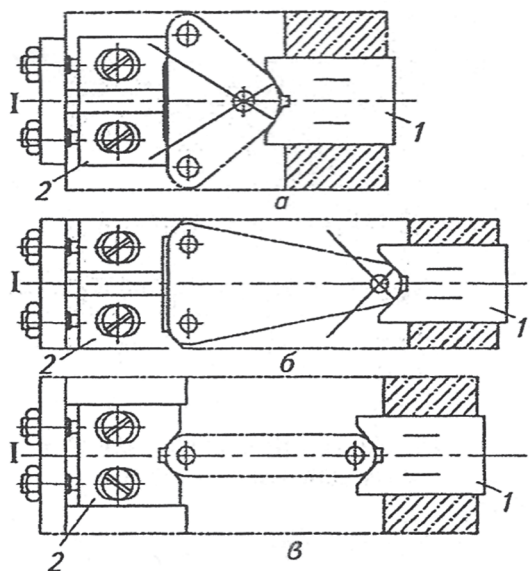


Рис. 6.16. Схема применения центрирующих призматических устройств

Зажим цилиндрических деталей (валов) осуществляют также при помощи двух призм: подвижной 1 и неподвижной 2 (рис. 6.16, б, в) (например, на фрезерно-центровальных станках).

Схема цангового центрирующего механизма для валов изображена на рис. 6.17.

Цанга 1, расположенная в корпусе 2, зажимает вал через промежуточную разрезную втулку 3 вследствие вертикального перемещения вниз конической втулки 4, которое

осуществляется гайкой 5 при помощи двух рукояток 6. Гайка 5 перемещает коническую втулку 4 через шарики 7. Штифт 8 удерживает втулку 4 от проворачивания при отвинчивании гайки 5, а подпружиненные упоры 9 возвращают коническую втулку 4 в исходное положение, разжимая цангу 1, в результате чего создается возможность смены обрабатываемой заготовки. Цанговые механизмы снабжаются набором цанг и втулок разных размеров, что значительно расширяет технологические возможности механизма.

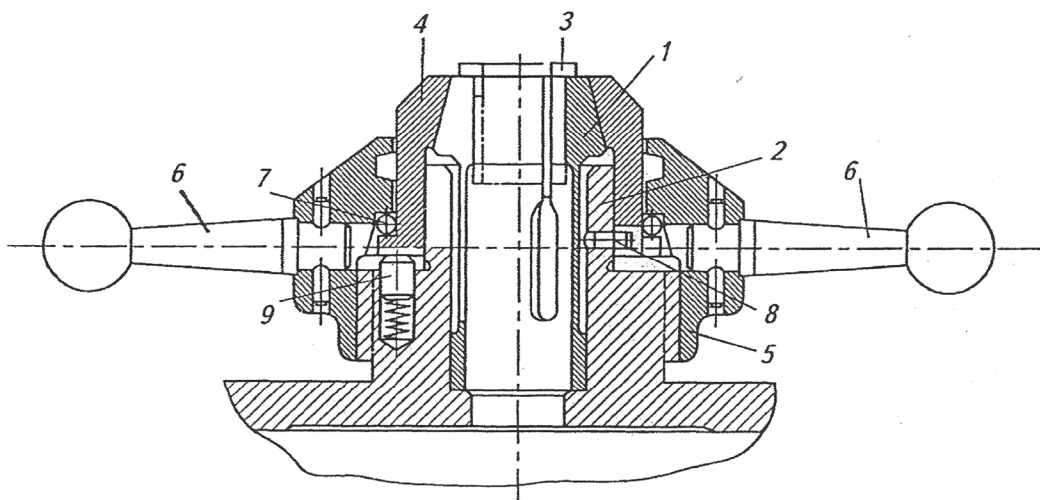


Рис. 6.17. Цанговый центрирующий механизм для зажима валов

На рис. 6.18 показан цанговый центрирующий механизм для зажима деталей (втулок) 5. Здесь использована двусторонняя цанга 4 с конусами на обоих концах. С левого конца она разжимается коническим корпусом 1, справа – стержнем 2 с конусом на конце, который затягивается стержнем 3 от пневмоцилиндра или вручную. При разжиме цанги стержень 2 движется вправо. При этом ослабляется зажим правой части цанги. Для стягивания цанги с левого конического корпуса 1 предусмотрен винт 6. Кольцо 7 предотвращает излишнее разжатие цанги при работе приспособления.

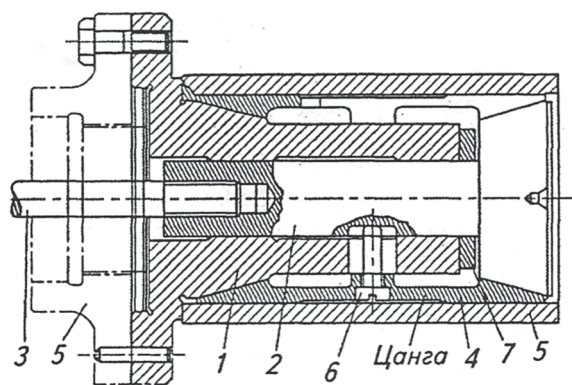


Рис. 6.18. Цанговый центрирующий механизм для зажима втулок

Цанги изготавливают из высокоуглеродистых или легированных сталей (У7А, У8А, 9ХС, 12ХН3А и др.). Их подвергают закалке, а рабочие поверхности шлифуют. Угол конуса цанг для зажима по наружной поверхности валов  $30^\circ$ .

Мембранные центрирующие механизмы обеспечивают более точное центрирование, чем цанговые. На рис. 6.19 показаны мембранные патроны для центрирования по наружному и внутреннему диаметру. В мембранном патроне рожкового типа (рис. 6.19, а) заготовка зажимается винтом 1 через мембрану 2. На рис. 6.19, б, в показаны патроны с чашечными мембранами для внутреннего и наружного центрирования. В обоих случаях заготовка зажимается винтом 1 через мембрану 2.

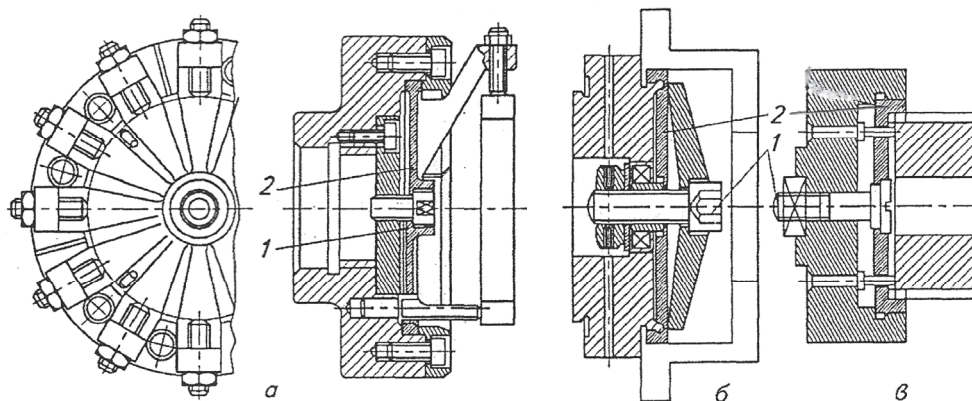


Рис. 6.19. Мембранные патроны для центрирования по наружному и внутреннему диаметру



Зажимное приспособление с гидропластом для центрирования по внутреннему диаметру приведено на рис. 6.20. Основной элемент приспособления – упругая втулка 1, которая раздается (деформируется) при помощи студенистой пластмассы – гидропласта. Давление на гидропласт (при закреплении заготовки) создается винтом 3 через плунжеры 4. На рис. 6.20 показаны два момента работы приспособления: в свободном состоянии, когда устанавливают заготовку 6 (внизу рисунка), и разжатом состоянии, когда заготовка 6 закреплена (вверху рисунка).

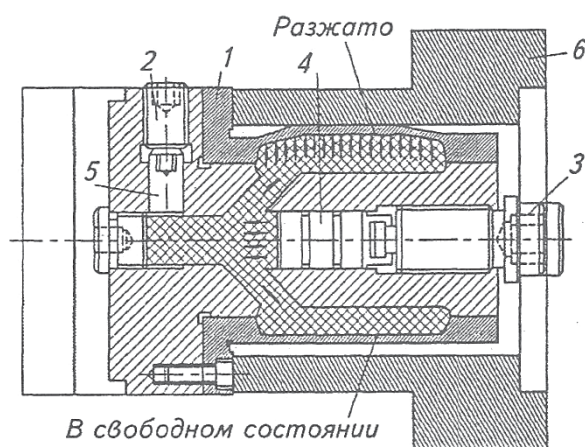


Рис. 6.20. Зажимное приспособление с гидропластом для центрирования по внутреннему диаметру:  
1 – упругая втулка; 2 – заглушка;  
3 – винт; 4 – плунжеры; 5 – отверстие для залива пластмассы; 6 – заготовка

В приспособлении имеются отверстия для залива пластмассы 5, которая при 120...140 °С становится жидкотекучей и легко заполняет рабочие полости.

Деформации упругого элемента приспособления сравнительно невелики, поэтому отверстия (или наружные диаметры) заготовок должны быть обработаны по 7...10-му качеству точности. Упругие элементы делают из стали 30ХГС с закалкой до твердости HRC35...40.

### 6.3. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗНЫХ СТАНКОВ

На **токарных** и **круглошлифовальных станках** обычно используют универсальные приспособления для обработки в центрах и патроне.

К приспособлениям для обработки в центрах относятся центры (обычно комплект из двух опорных центров), поводковые устройства, центровые оправки и люнеты.

Токарные центры бывают неподвижные и вращающиеся. Их рабочий конус 60°. При обработке полых деталей иногда применяют рифленные центры, которые вставляют в шпиндель станка (рис. 6.21). Они служат поводком для

детали. Гайка 1 предназначена для извлечения центра 2 из внутреннего отверстия шпинделя 3.

Поводковые устройства (хомутики, поводковые планшайбы, поводковые скобы, самозажимные поводковые патроны) предназначены для связи обрабатываемой детали, установленной в центрах, со шпинделем станка.

**Центровые оправки** (рис. 6.22) устанавливают в центры токарного станка и используют в процессе обработки наружных поверхностей деталей типа втулки (стаканов, зубчатых колес и др.). Кроме гладких оправок применяют шпоночные и шлицевые оправки для установки втулок со шпонками и шлицами.

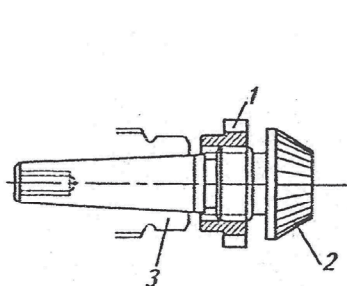


Рис. 6.21. Поводковый центр для крепления полых деталей

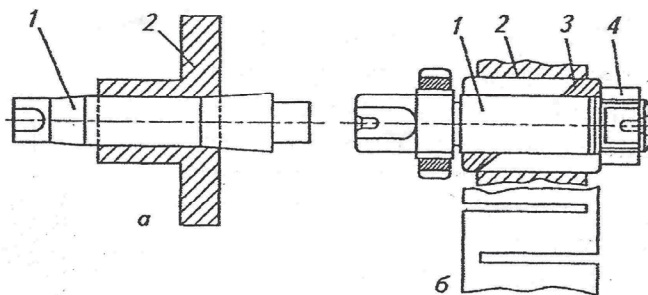


Рис. 6.22. Схема центровых оправок:  
а – цилиндрическая с конусом;  
б – разжимная с разрезной гильзой;  
1 – оправка; 2 – обрабатываемая деталь;  
3 – разрезная гильза; 4 – зажимная гайка

**Люнеты** (неподвижные и подвижные) служат для поддержания длинных валов во избежание их прогиба под действием сил резания.

При патронной обработке детали крепят на токарных и круглошлифовальных станках с помощью двух-, трех- или четырехкулачковых и цанговых патронов. Наиболее распространены трехкулачковые самоцентрирующие патроны. В четырехкулачковом патроне каждый кулачок передвигается самостоятельно, что позволяет закреплять в нем заготовки неправильной формы. При крупносерийном или массовом изготовлении деталей применяют двух- или трехкулачковые патроны с пневмо-, гидро- и электроприводами.

Цанговые патроны по сравнению с кулачковыми более точные и не портят зажимаемую поверхность детали. Для большей универсальности они снабжены набором цанг в зависимости от размеров деталей. Используют также специальные патроны, закрепляющие зубчатые колеса по профилю зубьев в процессе шлифования отверстий.

На **фрезерных станках** детали монтируют с помощью машинных тисков (с винтовым, эксцентриковым, гидравлическим и пневматическим зажимами), поворотных приспособлений с вертикальной и горизонтальной осями вращения, поворотных столов и кассетных приспособлений.

Для того чтобы правильно установить приспособления относительно режущего инструмента, на фрезерных станках следует использовать направляющие шпонки и габариты. Первые позволяют правильно расположить приспособление относительно оси станка. Одну-две шпонки закрепляют на нижнем основании корпуса приспособления и вводят в один из продольных пазов стола. Этим достигается совмещение продольной оси приспособления с направлением продольного хода стола. Вторые служат для выверки положения стола вместе с приспособлением относительно фрезы. Их выполняют в виде пластин, уголков, призм и т. п. Габариты устанавливают на корпусе приспособления на определенном расстоянии от поверхности обработки.

На **сверлильных станках** в качестве приспособлений применяют кондукторные плиты (могут быть подвесными) с кондукторными втулками, поворотные и опрокидываемые приспособления, различные резцовые оправки.

**Специальные приспособления** включают несколько групп: универсально-сборные приспособления (УСП); сборно-разборные приспособления (СРП); необратимые специальные приспособления (НСП).

Универсально-сборные приспособления применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства. УСП представляют собой набор разнообразных стандартных деталей и элементов, из которых могут быть собраны различные приспособления. Этот набор включает детали базовые (плиты квадратные, прямоугольные, круглые и др.), опорные (подкладки,

призмы, кольца, штыри), установочные (шпонки, пальцы, штыри, фиксаторы), направляющие (кондукторные планки и втулки), крепежные и др. Детали, входящие в комплект УСП, изготовлены из стали, цементированы и закалены до твердости HRC 60...64. В комплект УСП может входить до 20 000 деталей. Слесарь-сборщик собирает приспособление по карте технологического процесса обработки детали за 1...3 ч. При повторных компоновках приспособления затраты времени сокращаются до 15...30 мин. После использования приспособление разбирают и хранят на складе. На рис. 6.23 приведен пример деталей комплекта УСП и собранные приспособления.

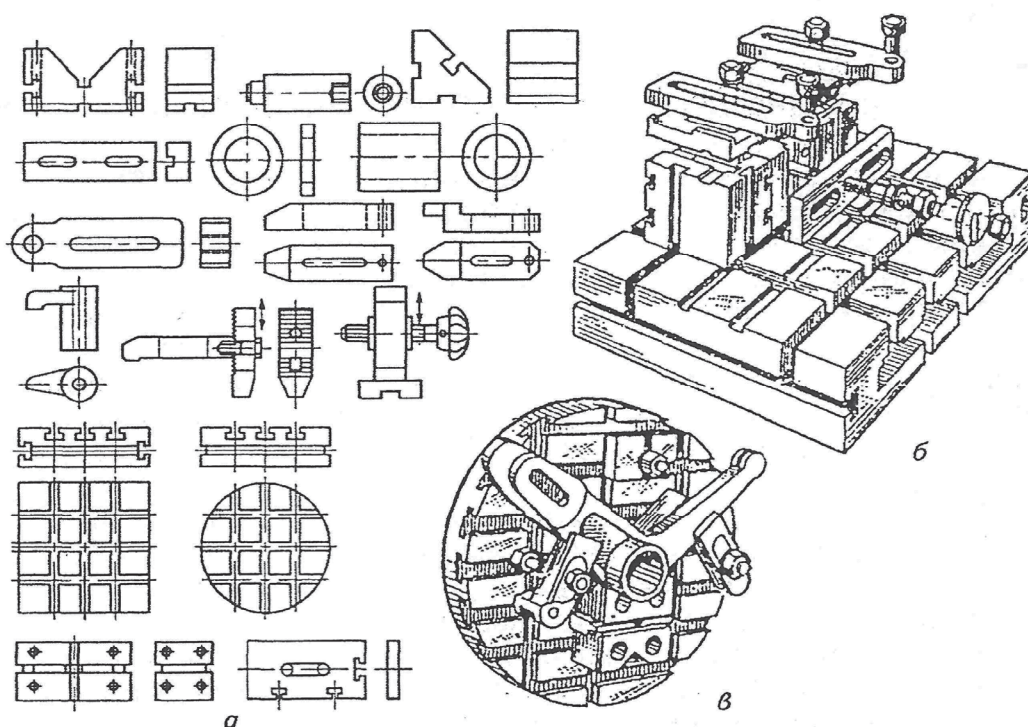


Рис. 6.23. Детали комплекта УСП и собранные из них приспособления:  
*а* – различные детали УСП; *б* – приспособления для сверления; *в* – токарное приспособление

Сборно-разборные приспособления применяют в условиях крупносерийного производства. Они состоят из отдельных узлов и допускают 3 – 4 перекомпоновки за период эксплуатации (при изменении выпускаемой продукции).

**Необратимые специальные приспособления.** Это действительно специальные приспособления, предназначенные для массового производства.

## 6.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

**Исходные данные для проектирования приспособлений.** К ним относятся рабочие чертежи заготовки и готовой детали с техническими условиями на их приемку; операционные эскизы заготовки на предшествующей и выполняемой операциях с указанием базирующих поверхностей и получаемых размеров; операционные карты, из которых можно установить используемое оборудование, режимы резания, а также, при возможности, норму штучного и вспомогательного времени; ГОСТы и нормали на детали и узлы станочных приспособлений, альбомы конструкций приспособлений.

При проектировании приспособлений необходимо сначала определить требования, предъявляемые к данной конструкции, и рабочие функции приспособления.

Приспособления должны обеспечивать необходимую и стабильную точность установки заготовки на станке; создавать условия для высокопроизводительной работы благодаря применению быстродействующих механизированных зажимов, одновременной установке и обработке нескольких деталей, многоинструментальной обработке, использованию многопозиционных приспособлений; быть простыми по устройству, удобными и безопасными в эксплуатации. Целесообразно максимальное использование унифицированных деталей и узлов.

Установка и снятие детали должны осуществляться без затруднений, места установки должны быть доступными для очистки от стружки, отвода охлаждающей жидкости.

Установка самого приспособления на станок должна быть простой, без сложных выверок.

Приспособление проектируют нижеследующим образом.

По имеющемуся чертежу детали и технологическому процессу обработки знакомятся с типовыми конструкциями приспособлений, а также с приспособлением, принятым на заводе. На основе перечисленных выше

требований к приспособлениям намечают общую схему вновь проектируемого приспособления или модернизацию существующего на заводе (одноместное или многоместное, с ручным или механизированным приводом и пр.).

После этого на миллиметровке или на рабочем столе компьютера наносят контуры обрабатываемой детали в необходимом числе проекций, желательно в масштабе 1:1. Проекции обрабатываемой детали раздвигают на расстояния, достаточные для размещения соответствующих проекций будущего приспособления. Контуры детали вычерчивают тонкими линиями. Чертеж детали в первой проекции должен соответствовать рабочему положению детали на станке. Деталь изображают такой, какой она получится после выполнения предыдущей операции. Выделяют жирными линиями поверхности, обрабатываемые в проектируемом приспособлении. Проектирование надо начинать с направляющих элементов приспособлений (например, с кондукторных втулок). Важным этапом является нанесение установочных деталей (подвижных и неподвижных). Затем наносят зажимные элементы. На последнем этапе проектирования все нанесенные элементы приспособления должны быть соединены общим корпусом.

Размеры силовых и кинематических звеньев приспособлений выбирают на основе предварительного расчета и по конструктивным соображениям.

На чертеже должно быть не менее двух проекций приспособления и достаточное число размеров, которое требуется для полного определения форм, размеров и взаимодействия всех входящих в приспособление деталей.

В конструкции приспособления следует в максимальной степени использовать детали и узлы, предусмотренные стандартами (силовые цилиндры, фиксаторы, прижимы, призмы, установочные пальцы и др.). Следует стремиться к минимальному числу используемых материалов для деталей; предусмотреть, если это требуется, их термообработку.

Прочностные расчеты деталей приспособлений производят по формулам курса «Детали машин».

**Расчет точности приспособлений.** По точности размеров элементы приспособлений можно разделить на три группы. К первой группе относятся размеры элементов приспособления, определяющие точность выполняемой работы. К примеру, это может быть расстояние между осями кондукторных втулок, которое влияет на точность расстояний отверстий в обрабатываемой детали. К этой же группе относятся размеры установочных элементов, определяющих положение заготовки в приспособлении. Ко второй группе относятся размеры тех сопряжений, которые не влияют на точность обработки детали. Это размеры зажимных устройств, выталкивателей и других вспомогательных механизмов. Третья группа – это свободные размеры приспособлений (могут быть обработанные и необработанные поверхности).

Допуски на точные размеры приспособления (допуски на размеры первой группы) берут в 2 – 3 раза меньше допусков на размеры обрабатываемой заготовки. Допуски на размеры второй группы назначают, исходя из условий работы элемента приспособления.

При проектировании приспособления проверяют точность элементов приспособлений первой группы по формуле

$$\delta_{\text{дет}} \geq \delta_{\text{пр}} + \sqrt{\Delta_{\text{обр}}^2 + \Delta_{\text{у}}^2},$$

где  $\delta_{\text{дет}}$  – допуск на обрабатываемый размер детали;  $\delta_{\text{пр}} = \delta_{\text{дет}}/3$  – допуск на соответствующий размер приспособлений;  $\Delta_{\text{обр}}$  – средняя экономическая точность обработки (определяют по справочным данным или на основе эксперимента);  $\Delta_{\text{у}}$  – погрешность установки.

Погрешность установки  $\Delta_{\text{у}}$  является суммой погрешности базирования  $\varepsilon_{\text{б}}$  и погрешности закрепления  $\Delta_{\text{з}}$ . Погрешности базирования возникают при несовпадении установочной базы с измерительной.

При обработке плоских поверхностей погрешность установки равна сумме погрешностей базирования и закрепления

$$\Delta_{\text{у}} = \varepsilon_{\text{б}} + \Delta_{\text{з}}.$$

При обработке поверхностей тел вращения

$$\Delta_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \Delta_3^2}.$$

Более подробно погрешности базирования и закрепления были рассмотрены в главах 3 и 4.

Погрешность установки в приспособлениях в зависимости от их размеров находится в пределах 0,01...0,05 мм, для приспособлений повышенной точности – менее 0,01 мм.

**Экономическая эффективность приспособлений.** Для определения экономичности приспособлений обычно сопоставляют себестоимость обработки детали на данной операции при использовании приспособлений различных конструктивных вариантов. Принимая одинаковыми расходы на режущий инструмент, амортизацию станка и электроэнергию, себестоимость обработки, зависящую от конструкции приспособления, можно определить по формуле, руб.,

$$C = \left(1 + \frac{H_{\text{ц}}}{100}\right) + \frac{Z_{\text{пр}}}{P_{\text{д}}} \left(\frac{1}{A_{\text{пр}}} + \frac{P_{\text{пр}}}{100}\right),$$

где  $H_{\text{ц}}$  – цеховые накладные расходы на заработную плату, % (обычно составляют 200...250 %);  $Z_{\text{пр}}$  – затраты на изготовление приспособления, руб.;  $P_{\text{д}}$  – годовая программа выпуска деталей, шт.;  $A_{\text{пр}}$  – срок амортизации приспособления, лет;  $P_{\text{пр}}$  – расходы, связанные с применением приспособлений (ремонт, содержание, регулировка), %.

Зарплата станочника

$$З = TSK,$$

где  $З$  – зарплата станочника (или разметчика и станочника), отнесенная к одной детали, руб.;  $T$  – штучно-калькуляционное время, ч,  $T = T_{\text{к}}/60$  ( $T_{\text{к}}$  – штучно-калькуляционное время, мин);  $S$  – часовая ставка рабочего первого разряда;  $K$  – тарифный коэффициент, значения которого приведены в п. 8.6.



Затраты на изготовление приспособления можно определить приближенно по формуле

$$З_{\text{пр}} = mK_1,$$

где  $m$  – число деталей в приспособлении (без крепежа);  $K_1$  – постоянная, зависящая от сложности приспособления. Для простых приспособлений  $K_1 = 175$ , для приспособлений средней сложности  $K_1 = 350$  и для сложных приспособлений  $K_1 = 460$ .

Срок амортизации для простых приспособлений можно принять равным одному году, для приспособлений средней сложности – от 2 до 3 лет и для сложных приспособлений – от 4 до 5 лет.

Значение  $P_{\text{пр}}$  принимают равным 20 %.

Применение приспособления должно быть рентабельным, т. е. затраты на его изготовление и эксплуатацию должны окупаться за счет повышения производительности и снижения квалификации исполнителя. Условие рентабельности приспособления состоит в том, что себестоимость выполнения операции с приспособлением  $C$  должна быть меньше себестоимости выполнения ее без приспособления  $C'$  (или с менее совершенным приспособлением), т. е. необходимо, чтобы

$$C < C'.$$

Это часто достигается исключением операции разметки заготовки при использовании приспособления.

Сопоставляя затраты и полученную экономию, имеем

$$\frac{З_{\text{пр}}}{П_{\text{д}}} \left( \frac{1}{A_{\text{пр}}} + \frac{P_{\text{пр}}}{100} \right) \leq C' - C.$$

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое станочные приспособления и для чего их применяют?
2. По каким признакам классифицируют приспособления?

3. Назовите основные элементы и механизмы приспособлений, их назначение.

4. Для чего применяют габариты?

5. В чем заключаются преимущества пневмопривода для зажима заготовок? Как классифицируют пневматические приводы?

6. Перечислите основные приспособления к токарным и круглошлифовальным, фрезерным и сверлильным станкам.

7. Какие существуют основные разновидности специальных приспособлений? Каков общий порядок их проектирования?

8. Как определяют экономическую эффективность приспособлений?

## 7. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН И ДЕТАЛЕЙ

### 7.1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Машина рациональной конструкции должна обладать высокими эксплуатационными характеристиками (производительность, надежность и др.) и удовлетворять требованиям технологии ее производства, эксплуатации и ремонта, т. е. быть технологичной. Перед отработкой на технологичность рассматриваются связи и рассчитываются размерные цепи. Таким образом, понятие **технологичности конструкции изделия** является **комплексным**.

**Эксплуатационная технологичность машины** оценивается ее приспособленностью для выполнения операций технического обслуживания (контроль технического состояния машины и ее элементов, регулировка и смазка сопряжений, обнаружение и устранение неисправностей и отказов и др.).

**Ремонтная технологичность машины** определяется ее приспособленностью к ремонтным работам, направленным на восстановление работоспособности агрегатов, сборочных единиц, деталей или машины в целом.

В данном курсе рассматривается только производственная технологичность конструкций машин и их деталей, поскольку эксплуатационная и ремонтная технологичность изучается в курсе «Надежность и ремонт машин».

К основным показателям производственной технологичности конструкции машин относятся простота конструкции (возможно меньшее число деталей, простота компоновки машины и конструктивного решения, детали должны удовлетворять требованиям технологии производства, максимальная унификация применяемых материалов в машине); удобство сборки и разборки (простота и доступность сборки, возможность широкого фронта сборочных и разборочных работ, отсутствие пригоночных работ); высокая степень унификации, нормализации и стандартизации деталей и их элементов, сборочных единиц; взаи-

мозаменяемость деталей и узлов; минимальная масса машины (снижение массы машины ведет к снижению трудоемкости ее изготовления, а при эксплуатации обеспечивает снижение расхода энергии на ее передвижение).

Под **унификацией** понимают обобщение конструктивных решений (т. е. многократное применение) без оформления специальных документов. **Нормализация** – обеспечение конструктивных решений в виде внутризаводских и ведомственных нормалей. **Стандартизация** – обобщение конструктивных решений, заложенных в государственные стандарты.

Унификация, нормализация и стандартизация могут применяться к элементам деталей (резьбы, галтели, шлицы, модули зубчатых колес, допуски на валы и отверстия и т. д.), деталям и сборочным единицам. Унифицированные сборочные единицы можно применять в разных машинах. Унификация уменьшает число разных деталей в машине, требуемое число типоразмеров режущих и измерительных инструментов, приспособлений. Она сокращает объем проектирования, повышает серийность производства, что ведет к снижению себестоимости и повышению качества изделий. Следует отметить, что унификация также упрощает эксплуатацию машины благодаря уменьшению номенклатуры запасных частей и снижению трудоемкости ремонтов.

Возможна и желательна также унификация в машине применяемых материалов (т. е. сокращение числа наименований материалов). Разнообразие материалов усложняет процесс производства, прежде всего заготовительных операций и операций механической обработки. Многообразие марок материалов ведет к увеличению номенклатуры и запасов материалов на складах, возрастанию простоев оборудования из-за нехватки того или иного материала и т. д. Разные материалы требуют при механической обработке разной геометрии инструмента и режимов резания.

Основные показатели технологичности конструкции детали: простота; рациональный способ получения заготовки; оптимальная шероховатость обрабатываемых поверхностей и точность (завышение требований по точности и шероховатости поверхности усложняет и удорожает механическую обработку);

возможность применения экономичных и высокопроизводительных технологических процессов.

Под простотой конструкции детали понимается применение простых поверхностей (чаще цилиндрических плоскостей); доступность обрабатываемых поверхностей инструменту; возможно меньшие поверхности обработки (особенно точные с малой шероховатостью) для уменьшения объема механических операций.

Каждый метод получения заготовок (литье, штамповка, ковка и др.), методы получения соединений (сваркой, пайкой, склеиванием, клепкой и др.) и обработки деталей (резанием, электрофизическими и электрохимическими) предъявляют свои технологические требования к конструкции, т. е. технологичность конструкции заготовки или детали зависит от метода ее получения и обработки.

Конструктор при проектировании деталей машины должен представлять себе технологию изготовления заготовок и их последующую механическую обработку. Так, корпусные детали бывают литыми, сварно-литыми и штамповочными. Литые заготовки должны удовлетворять требованиям технологии литейного производства. Мелкие детали из цветных сплавов должны быть удобными для литья в металлические формы.

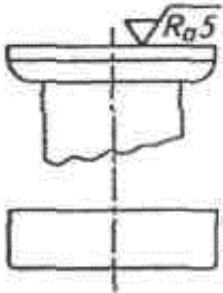
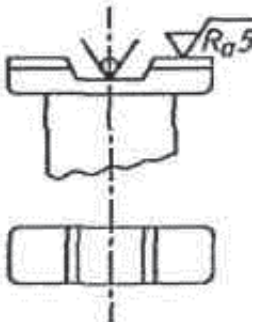
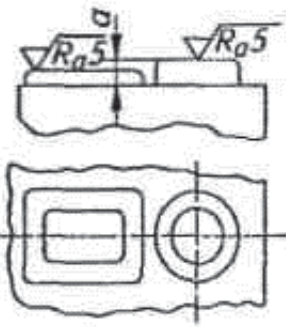
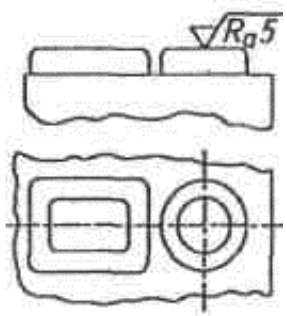
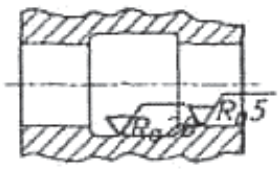
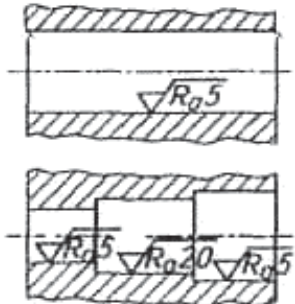
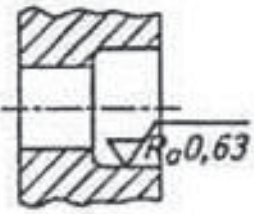
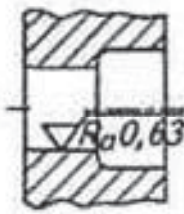
Конструктивная форма корпусной детали должна обеспечить возможность ее полной обработки от одной базы (например, плоскости и двух установочных отверстий, перпендикулярных ей); возможность обработки плоскостей с отверстиями на проход; в деталях не должно быть поверхностей, не перпендикулярных осям отверстий; отверстия и резьбы должны быть унифицированы.

Конструкция валов должна иметь минимальное число точно обрабатываемых поверхностей, предусматривать возможность штамповки заготовок в закрытых штампах.

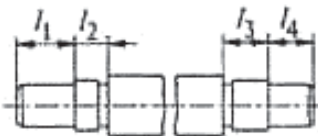

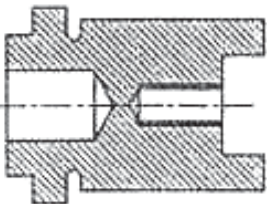
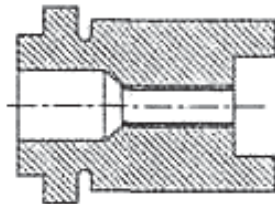
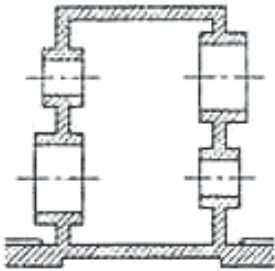
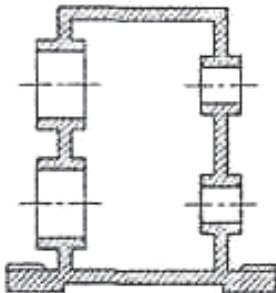
В табл. 7.1 приведены примеры нетехнологичных и технологичных конструкций деталей с точки зрения обработки деталей резанием.

Таблица 7.1

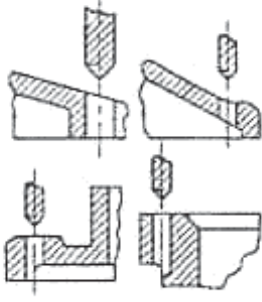
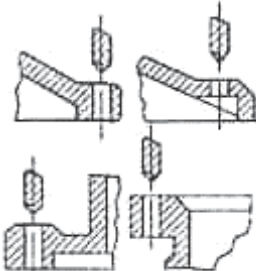
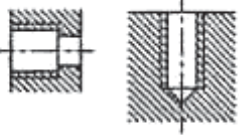
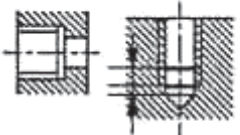

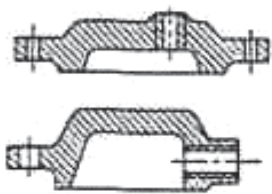
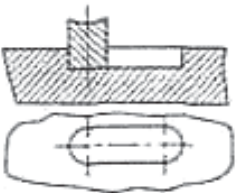
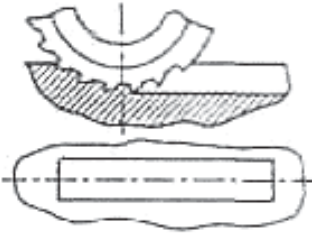
## Примеры нетехнологичных и технологичных конструкций деталей

Основные технологические требования	Конструкция		Преимущества технологичной конструкции
	нетехнологичная	технологичная	
Обрабатываемые плоскости не должны быть сплошными			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Снижение трудоемкости</li> <li>2. Повышение точности</li> <li>3. Уменьшение расхода инструмента</li> </ol>
Обрабатываемые плоскости следует располагать на одном уровне			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность обработки в один проход производительными методами – торцевым фрезерованием, плоским шлифованием и протягиванием</li> <li>2. Возможность обработки нескольких деталей одновременно</li> <li>3. Упрощение контроля</li> </ol>
В отверстиях не должно быть обрабатываемых выточек			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Снижение трудоемкости</li> <li>2. Возможно применение производительных методов обработки, исходя из условий механической обработки</li> </ol>
В ступенчатых отверстиях наиболее точную ступень следует делать сквозной			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Снижение трудоемкости обработки</li> <li>2. Повышение точности обработки и стойкости инструмента</li> <li>3. Упрощение конструкции инструмента</li> </ol>

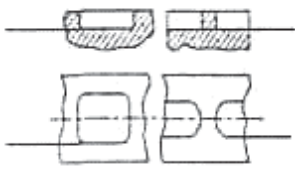
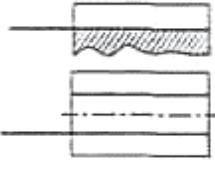
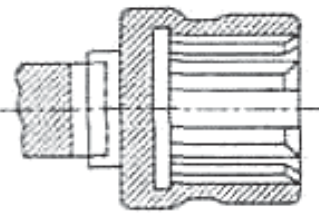
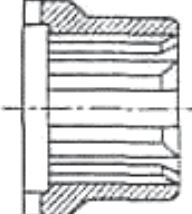
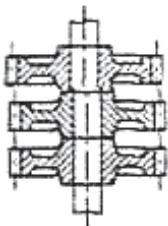
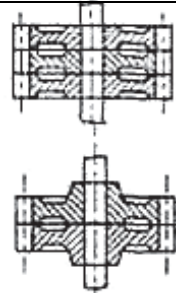
Продолжение табл. 7.1

Основные технологические требования	Конструкция		Преимущества технологичной конструкции
	нетехнологичная	технологичная	
В многоступенчатых валах размеры ступеней по длине следует устанавливать одинаковыми			При одинаковой или кратной длине ступеней вала время обработки уменьшается, так как оно определяется временем, необходимым для обработки самой короткой ступени, причем обработка может производиться одновременно
Конструкция втулок должна обеспечивать возможность обработки их с одной стороны			В первом случае отверстия, расположенные с обеих торцов детали, могут быть обработаны за две операции, при этом нарезание резьбы в глухом отверстии сопряжено с частой поломкой инструмента; во втором случае обработка отверстий осуществляется за одну операцию при упрощении операции нарезания резьбы
При наличии соосных отверстий на нескольких параллельных осях целесообразно предусматривать убывание диаметров отверстий в одном направлении на всех осях			Поворот детали увеличивает погрешность относительного расположения отверстий. В технологичной конструкции этот недостаток устранен

Продолжение табл. 7.1

Основные технологические требования	Конструкция		Преимущества технологичной конструкции
	нетехнологичная	технологичная	
Возможность нормального входа и выхода режущего инструмента			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Предохранение инструмента от поломок</li> <li>2. Повышение точности сверления</li> <li>3. Повышение производительности</li> </ol>
Глухие отверстия с резьбой должны иметь канавки для выхода инструмента или в них должен быть предусмотрен сбег резьбы			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Улучшение качества резьбы</li> <li>2. Улучшение условий работы инструмента</li> <li>3. Снижение трудоемкости</li> </ol>
Следует избегать наклонного расположения оси отверстий			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Упрощение конструкции приспособления</li> <li>2. Возможность одновременно обрабатывать и другие отверстия при параллельном расположении осей</li> <li>3. Снижение трудоемкости обработки отверстий</li> </ol>
Следует избегать закрытых пазов, обрабатываемых концевыми фрезами			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Применение более производительного инструмента</li> <li>2. Улучшение условий работы инструмента и особенно его врезания</li> <li>3. Снижение трудоемкости обработки</li> </ol>



Основные технологические требования	Конструкция		Преимущества технологичной конструкции
	нетехнологичная	технологичная	
Следует избегать закрытых гнезд и несквозных пазов			1. Сокращение числа проходов 2. Упрощение конструкции режущего инструмента 3. Снижение трудоемкости обработки
Следует избегать глухих шлицевых отверстий			Возможность обработки отверстия производительным методом – протягиванием
Зубчатые колеса не должны иметь выступающую ступицу			Зубья колес с выступающей ступицей нельзя нарезать одновременно из-за отсутствия надежной опоры и увеличения рабочего хода инструмента

Сборка также предъявляет определенные требования к конструкции машин. Машина должна иметь простую компоновку и конструкцию, допускать возможность ее сборки из предварительно собранных сборочных единиц, что расширяет фронт сборочных работ. Конструкция машины должна допускать возможность механизации и автоматизации сборочных работ при узловой и общей сборке, а также упрощение контрольно-измерительных работ. От нормализации и унификации деталей и сборочных единиц зависит увеличение серийности выпуска и, как следствие, снижение трудоемкости и себестоимости сборочных работ. Взаимозаменяемость деталей и узлов снижает трудоемкость в результате уменьшения объема пригоночных работ при сборке.

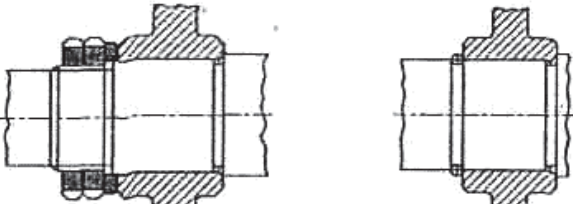
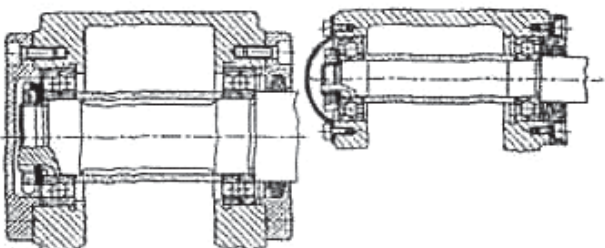
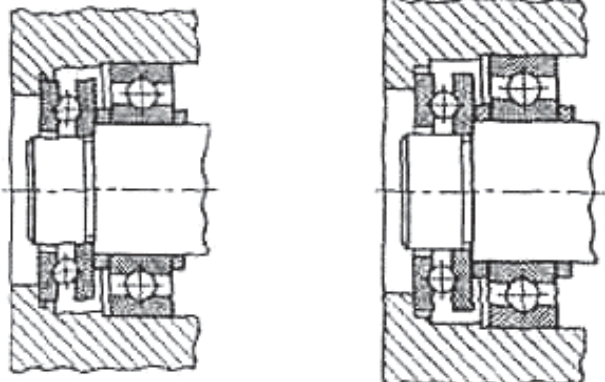
Ниже приведены некоторые конструктивные решения, облегчающие процесс сборки. Так, при сборке сопрягаемых деталей необходимо предусмотреть фаски в отверстиях или на валу; предпочтительнее на валу, так как их легче вы-

полнить (рис. 7.1, а). Фаски необходимы также и у деталей резьбовых соединений.

В табл. 7.2 приведены примеры технологичных и нетехнологичных конструкций исходя из условий сборки.

Таблица 7.2

Примеры технологичных и нетехнологичных конструкций, исходя из условий сборки

Конструкция		Обоснования, рекомендации
нетехнологичная (а)	технологичная (б)	
		Упрощение конструкции и сборки, вариант (б) не предназначен для больших осевых усилий
		Жесткое крепление обоих подшипников (а) затрудняет их нормальную работу. Жесткое крепление одного подшипника при возможности осевого перемещения второго (б) облегчает сборку
		Обеспечить правильную работу сборочной единицы при жестком центрировании обоих подшипников (а) трудно. Отсутствие фиксирования упорного подшипника по диаметру отверстия корпуса (б) облегчает сборку

Приведем два примера ремонтной технологичности собираемых элементов машин. Для удобства съема крышки с корпуса (рис. 7.1, б) часто предусматривают три отжимных винта, расположенных по окружности крышки. Для

съемы крышки эти винты попеременно закручивают, чем облегчают разборку соединения. Для выколотки внутреннего кольца (подшипника) из корпуса предусмотрено отверстие (рис. 7.1, в). Ударяя молотком по торцу кольца через выколотку, удаляют внутреннее кольцо, т. е. разбирают соединение.

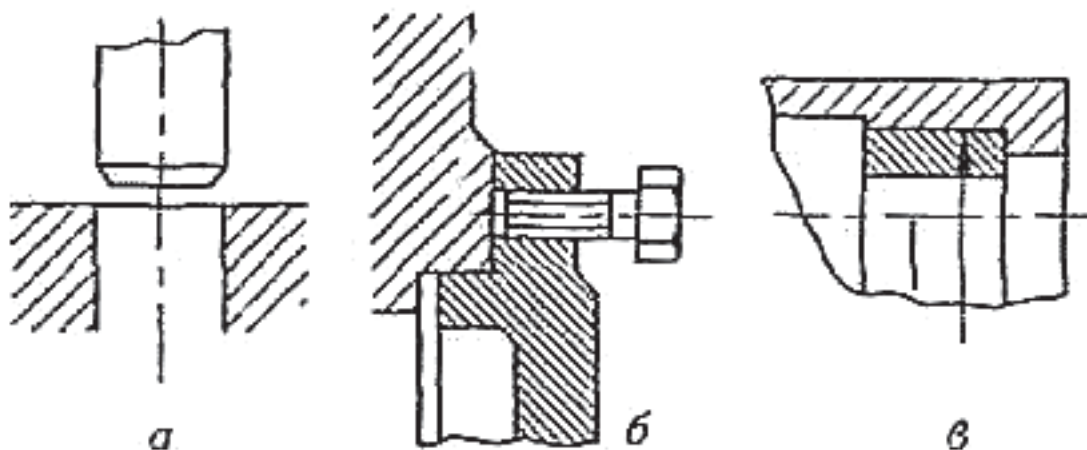


Рис. 7.1. Примеры производственной и ремонтной технологичности собираемых (разбираемых) деталей

## 7.2. ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН

Критериями для оценки технологичности конструкций машин служат себестоимость машины в рублях или трудоемкость изготовления в человеко-часах; металлоемкость; уровень стандартизации.

**Технологическая себестоимость** продукции (изделия, детали)

$$C = C_m + C_3 \left( 1 + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{100} \right),$$

где  $C_m$  – стоимость материалов за вычетом стоимости отходов, руб.;  $C_3$  – заработная плата производственных рабочих, руб.;  $\alpha_1$  – начисления по заработной плате на социальные расходы, %;  $\alpha_2$  – цеховые и общезаводские расходы, %.

**Трудоемкость** изготовления машины определяется суммой трудоемкостей изготовления составляющих ее элементов. Таким образом, в трудоемкость машины входят трудоемкость изготовления отдельных деталей, сборки узлов (сборочных единиц) и машины в целом.

Если машину (трактор, уборочная машина и т. д.) выпускали ранее и она имеет аналог, то для оценки применяют относительные показатели технологичности.

Коэффициент уровня технологичности **по технологической себестоимости**

$$k_c = \frac{C}{C_6},$$

где  $C$  – технологическая себестоимость рассматриваемой машины, руб.;  
 $C_6$  – технологическая себестоимость базовой машины (аналог), руб.

Коэффициент уровня технологичности **по трудоемкости изделия**

$$k_T = \frac{T}{T_6},$$

где  $T$  – трудоемкость изготовления рассматриваемой машины;  $T_6$  – трудоемкость изготовления базовой машины (аналога).

Расчет величин  $C$  и  $T$  для расчета коэффициентов  $k_c$  и  $k_T$  на стадии проектирования изделий производят приближенным расчетом себестоимости (трудоемкости), используя статистические данные по изделиям-представителям с введением соответствующих поправочных коэффициентов.

Для оценки эффективности использования материала в машине служат коэффициенты конструктивной материалоемкости и использования материала.

Конструктивная (удельная) материалоемкость машины  $m_k$  представляет собой отношение массы машины  $M$  к ее мощности  $N$ , кг/кВт:

$$m_k = \frac{M}{N},$$

Чем меньше  $m_k$ , тем технологичнее конструкция.

Коэффициент использования материала  $k_M$  представляет собой отношение массы изделия  $Q_{И}$ , кг, к общей массе заготовок на изделие  $Q_3$ , кг:

$$k_M = \frac{Q_{И}}{Q_3}.$$

Для оценки технологичности конструкции машины по признаку унификации применяют коэффициенты унификации изделия, сборочных единиц, деталей, конструктивных элементов деталей.

#### **Коэффициент унификации изделия**

$$k_y = \frac{E_y + D_y}{E + D},$$

где  $E_y$  – число унифицированных сборочных единиц в изделии (в том числе заимствованных, покупных унифицированных и стандартных);  $D_y$  – число унифицированных деталей, являющихся составными частями изделия и не вошедших в величину  $E_y$  (в том числе заимствованных, покупных унифицированных и стандартных);  $E$  – общее число сборочных единиц в изделии,  $E = E_y + E_{ор}$ , здесь  $E_y$  – число унифицированных сборочных единиц в изделии,  $E_{ор}$  – число оригинальных сборочных единиц в изделии;  $D$  – число деталей, являющихся составными частями изделия,  $D = D_y + D_{ор}$ , здесь  $D_y$  – число унифицированных деталей;  $D_{ор}$  – число оригинальных деталей.

#### **Коэффициент унификации сборочных единиц**

$$k_{y.e} = \frac{E_y}{E}.$$

#### **Коэффициент унификации деталей**

$$k_{y.д} = \frac{D_y}{D}.$$

#### **Коэффициент унификации конструктивных элементов деталей**

$$k_{y.э} = \frac{Q_{y.э}}{Q_э},$$

где  $Q_{y.э}$  – число унифицированных типоразмеров конструктивных элементов всех деталей изделия (машины);  $Q_э$  – число типоразмеров конструктивных элементов в изделии (машине).

Примеры конструктивных элементов изделия (машины): резьбы, галтели, отверстия, модули колес и т. д.

Чем больше коэффициенты унификации, тем технологичнее машина, так как при этом снижаются затраты не только на изготовление машины, но и на ее эксплуатацию. Таким образом, важным фактором оценки технологичности конструкции машины является конструктивная преемственность (которая выражается коэффициентами унификации) – возможность использования составных частей, узлов, деталей, применяемых в других машинах.

При работе над технологичностью конструкции машины приходится решать много инженерных задач, в том числе:

- исключение из конструкции каких-либо составных частей (узлов и деталей) или замена нескольких частей одной;
- использование технологически более рациональных заготовок;
- замена сложных поверхностей деталей простыми (плоскими, цилиндрическими и др.);
- расширение допусков и повышение допустимой шероховатости поверхности деталей (если это возможно);
- применение более экономичных технологических процессов изготовления;
- унификация, нормализация и стандартизация элементов деталей и сборочных единиц, а также унификация материалов.

Отработка конструкции машины на технологичность – длительный, непрерывный процесс, который начинается с первых этапов ее конструирования, продолжается в период освоения производства и изготовления. На стадии проектирования отработкой конструкции на технологичность занимаются конструкторы при активном участии технологов. В период изготовления машины к решению этой задачи подключаются специалисты производства, ведется учет мнений и пожеланий рабочих, эксплуатирующих машины.

Технологичность конструкции машины зависит также от условий и масштабов производства. Так, при увеличении масштаба производства часто приходится вносить изменения в конструкцию машины, исходя из требований технологичности.

Таким образом, машина технологичной конструкции характеризуется низкой материалоемкостью; трудоемкость и себестоимость ее изготовления минимальны, поэтому разработка технологичной конструкции машины является крайне важной задачей как для конкретной области машиностроения, так и для сферы ее эксплуатации.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое технологичность конструкции изделия?
2. Перечислите основные показатели производственной технологичности конструкции машины.
3. Что дают унификация, нормализация, стандартизация применительно к элементам деталей, деталям, сборочным единицам?
4. Назовите основные показатели технологичности конструкции детали.
5. Приведите примеры технологичных конструкций деталей из условий механической обработки.
6. Назовите критерии для оценки технологичности конструкций машин.
7. В чем заключается отработка изделия на технологичность и ее длительность?

## 8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### 8.1. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Построение технологических процессов возможно двумя методами: концентрацией и дифференциацией операций. При **концентрации технологического процесса** (принцип совмещения операций) механическая обработка деталей может быть осуществлена на небольшом числе станков, на которых выполняется много переходов. Концентрация технологического процесса может быть **последовательной**, когда большое число переходов выполняется последовательно один за другим. Это более свойственно серийному производству. При одновременном выполнении многих переходов концентрация технологического процесса будет **параллельной**. Это характерно для крупносерийного и массового производства с применением многошпиндельных, многорезцовых, агрегатных, многопозиционных станков. При разделении технологического процесса на большое число операций с малым числом переходов (в большинстве случаев однопереходных) происходит **дифференциация технологического процесса** (принцип разделения). Установление степени концентрации (дифференциации) технологического процесса зависит от конкретных условий производства (наличия парка оборудования, квалификации рабочих и др.) [14].

Массовому и крупносерийному производству присуща более высокая степень параллельной или параллельно-последовательной концентрации технологического процесса. Однако в некоторых случаях применяют и дифференциацию технологического процесса.



В условиях единичного и мелкосерийного производства характерно использование принципа концентрации операций, выполняемых высококвалифицированными рабочими.

При средней серийности производства возможно построение технологических процессов этими двумя методами: концентрация операций на станках с ЧПУ, агрегатных станках и автоматах, токарно-револьверных станках, а дифференциация – на переменнo-поточных линиях групповой обработки.

В условиях крупносерийного и массового производства также возможно построение технологических процессов этими двумя методами: концентрация операций – на многошпиндельных автоматах и полуавтоматах, обрабатывающих центрах, автоматизированных производственных системах, состоящих из станков с ЧПУ и обрабатывающих центров, управляемых ЭВМ; дифференциация – на конвейерных автоматических линиях, состоящих из простых узкоспециализированных станков.

Характерным примером построения технологических процессов по методу дифференциации операций является опыт Великой Отечественной войны, когда к производству военной продукции (например, снарядов) было привлечено множество универсального металлорежущего оборудования, которое ранее применяли для производства мирной продукции, а также малоквалифицированная рабочая сила (женщины, подростки). В этих условиях рациональное производство можно было организовать по принципу дифференциации технологического процесса. Весь процесс обработки снарядов разделяли на многочисленные, но крайне простые операции, которые малоквалифицированный рабочий мог освоить в кратчайшие сроки.

Для упрощения работы технолога был разработан технологический классификатор деталей машин на базе работ отечественных ученых А. П. Соколовского, Ф. С. Демьянюка, С. П. Митрофанова и других, научных и проектных организаций (ВПТИтяжмаш, Оргстанкинпром), а также некоторых зарубежных фирм Великобритании, ФРГ и др.

Каждой детали в соответствии с единой системой конструкторской документации (ЕСКД) был присвоен конструкторский код, который состоит из кода организации-разработчика, кода классификационной характеристики по ЕСКД и порядкового регистрационного номера. Классификационная характеристика имеет пять уровней деления и состоит из шести знаков: класс, подкласс, группа, подгруппа, вид (на класс выделяется два знака).

Технолог на базе технологического классификатора определяет технологический код детали, который формируется для различных методов обработки (литье, ковка и горячая штамповка, холодная штамповка, обработка резанием, термическая обработка, формообразование из полимерных материалов, детали с покрытиями, электрофизические методы обработки, порошковая металлургия).

Технологический код включает характеристику детали по технологическому процессу: размерную характеристику, группу материала, вид исходной заготовки, качество точности наружных и внутренних поверхностей, шероховатость наружной поверхности, характеристики зубчатого зацепления и термической обработки, массовую характеристику.

Структура полного конструкторско-технологического кода обработки резанием (за исключением кода разработчика и порядкового номера) состоит из 20 знаков: 6 знаков – код конструкторской классификации и 14 знаков – код технологической классификации.

Технологическая классификация создает предпосылки для разработки групповых технологических процессов, что способствует повышению серийности производства и применению более совершенных станков и оснастки.

Разработку технологии обработки деталей и ее осуществление можно упростить при наличии типовых технологических процессов. В конце 30-х годов XX в. проф. А. П. Соколовский создал основы методики типизации технологических процессов и классификацию деталей по однотипности технологических процессов. Все детали проф. А. П. Соколовский разделил на пятнадцать классов. Впоследствии на основе анализа и критической переработки этой

классификации проф. Ф. С. Демьянюк предложил свою конструктивно-технологическую классификацию деталей машин. Все детали машин он разделил на шесть классов: I – корпусные детали; II – круглые стержни (валы); III – полые цилиндры (втулки); IV – диски; V – некруглые стержни (рычаги); VI – крепежные детали.

В основу своей классификации проф. Ф. С. Демьянюк положил три определяющих фактора: размеры детали (габариты и масса), ее форму и общность в технологии обработки.

Классы деталей (кроме крепежных) разделены на четыре группы: крупные, средние, небольшие и мелкие. Крепежные детали отнесены к группе мелких деталей. Такое деление деталей на четыре группы примерно соответствует делению станков по типоразмерам. Отличительными особенностями крупных деталей являются установка и съём их со станков с помощью подъемников.

Положительным моментом этой конструктивно-технологической классификации является то, что она прошла апробацию на крупнейшем автомобильном заводе.

Создание технологической классификации на группы деталей идет параллельно с работой по унификации и нормализации их конструкций. Это повышает серийность производства, позволяет применять более прогрессивное оборудование и сократить номенклатуру режущих и измерительных инструментов.

## 8.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

К проектированию технологического процесса изготовления детали можно приступить, если имеются следующие материалы:

- рабочий чертеж детали, на котором указаны материал, конструктивные формы, размеры деталей;
- данные о заготовке (материал и размеры);
- размер производственной программы и сроки её выполнения;

– технические условия и требования на изготовление детали, определяющие точность и качество обрабатываемых поверхностей; сведения о специфических условиях данного производства.

**Рабочий чертеж детали** должен полностью определять данную деталь и содержать необходимые указания для ее изготовления. Рабочий чертеж должен включать:

- необходимое число проекций и сечений;
- все необходимые размеры, проставленные с соблюдением правил расстановки их на чертежах и в соответствии с требованиями ЕСКД;
- допуск на точность изготовления;
- данные о шероховатости поверхности после обработки;
- указания о необрабатываемых поверхностях, если они есть на изготавливаемой детали;
- материал и его марку;
- указания о термообработке и твердости;
- указания о числе деталей на одно изделие.

Кроме того, для понимания условий работы детали желательно ознакомиться со сборочным чертежом узла (машины), в который входит данная деталь.

**Данные о заготовке** желательно иметь в виде рабочего чертежа. Чертеж заготовки даёт представление о величинах припусков и допусков, о расположении уклонов у штамповок, отливок и т. д. Эти данные необходимы для выбора баз при механической обработке, режимов резания, проектирования приспособлений установки заготовки на станке. Самостоятельные чертежи заготовок выполняют обычно в условиях массового и крупносерийного производства. В серийном производстве чертеж заготовки часто делают цветным карандашом на чертеже детали с проставлением соответствующих размеров и допусков. В единичном производстве чертеж заготовки можно не делать. В этом случае должны быть даны указания о величинах припусков.

**Размер производственной программы** во многом определяет характер применяемого (выбранного) оборудования, приспособлений, инструмента, а также степень проработки технологического процесса. Производственную программу устанавливают на год. При неравномерном по времени выпуске производственную программу можно устанавливать по кварталам или месяцам. На основании производственной заводской программы составляют производственные программы отдельных цехов.

**Технические условия и требования на изготовление детали** включают твердость отдельных поверхностей детали, структуру материала некоторых участков изделий, виды термической обработки, необходимость балансировки, допустимую неуравновешенность и т. п.

При проектировании технологических процессов необходимы справочные и нормативные материалы:

- каталоги и паспорта оборудования;
- альбомы и каталоги приспособлений;
- ГОСТы, нормали и каталоги на режущие и измерительные инструменты;
- данные о качестве (шероховатости) поверхности;
- данные экономической точности при различных методах обработки резанием;
- данные о типовых вариантах обработки деталей для получения заданной точности;
- справочные данные о режимах резания;
- справочные данные для определения норм времени на операции;
- тарифно-квалификационные справочники и другие материалы.

Для оформления разработанных технологических процессов необходимо иметь бланки технологических карт или компьютерную базу данных.

### 8.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Проектирование технологических процессов – важный элемент процесса производства. От степени рациональности технологических процессов зависят качество и стоимость продукции.

При проектировании технологических процессов должны быть решены две основные задачи:

- технологический процесс для заданных условий и масштаба производства должен обеспечить надежное (без брака) осуществление всех требований рабочего чертежа и технических условий на изделие;
- технологический процесс должен быть максимально экономичным.

Требование экономичности процесса часто не совпадает с его максимальной производительностью. И в исключительных случаях (срочный выпуск особо важной продукции, расшивка «узких» мест производства и т. п.) на определенный период времени отступают от принципа экономичности процесса, отдавая предпочтение наибольшей производительности.

Для выбора наиболее экономичного варианта технологического процесса часто приходится составлять два-три конкурирующих варианта, которые сравнивают между собой. Обычно предпочтение при прочих равных условиях отдают наиболее экономичному варианту. Требование экономичности часто приводит к тому, что наиболее целесообразным оказывается не самый совершенный процесс из всех существующих и не на самом лучшем оборудовании, а тот, при котором надежно выполняются требования рабочего чертежа и который для данных условий является наиболее экономичным.

**Степень проработки технологического процесса.** В зависимости от масштаба производства технологический процесс бывает разработан более или менее подробно. В единичном и мелкосерийном производстве технологический процесс разрабатывают не подробно. В этих условиях составляют так называемую маршрутную технологию («технологический маршрут») – перечень операций, и на каждую операцию определяют штучное время и разряд работ. Однако

при обработке сложных и дорогих деталей даже в условиях единичного производства технологические процессы разрабатывают более подробно.

В серийном производстве представляют маршрутно-операционное описание технологического процесса. На наиболее сложные операции составляют операционные процессы (с режимами резания), а на простые – технологический маршрут. Для сложных и ответственных деталей (корпуса редукторов, шатуны коленно-рычажных прессов и др.) разрабатывают операционную технологию (характерную для массового производства).

При крупносерийном и массовом производстве составляют операционную технологию, которая более подробна, чем маршрутно-операционная.

В состав работ при проектировании процессов изготовления деталей входят:

- 1) анализ технических требований и условий изготовления изделия на данном предприятии, т. е. устанавливают возможности получения и контроля конструктивных и технологических параметров детали и выявляют технологические задачи;
- 2) установление типа производства и методов работы по программе выпуска и планируемому интервалу времени выпуска изделия данной конструкции и технологических признаков;
- 3) технический контроль чертежа детали на соответствие требованиям технологичности для условий данного или проектируемого предприятия;
- 4) определение вида заготовки и метода её получения;
- 5) установление маршрутов обработки основных поверхностей заготовки, т. е. последовательность переходов, обеспечивающих получение требуемой по рабочему чертежу точности и качества поверхностного слоя от заготовки до конечных характеристик поверхности;
- 6) составление маршрута изготовления детали с выбором схемы установки, определение последовательности выполнения технологических

- операций, а при необходимости и операций, например, по транспортированию изделий, а также выбор типа оборудования и оснастки;
- 7) расчёт припусков и определение промежуточных размеров по переходам и исходных размеров заготовок;
- 8) проведение завершающих технологических разработок:
- выбор схемы построения операций;
  - определение режимов выполнения технологических переходов;
  - проведение расчётов точности получения размеров, формы и расположения поверхностей;
  - выбор моделей технологического оборудования (например, металлорежущих станков, приспособлений и т. д.), видов режущих инструментов;
- 9) определение технико-экономических показателей созданных возможных вариантов технологических процессов, из которых выбирают наиболее рациональные;
- 10) оформление необходимой для данного типа производства технологической документации.

**Определение типа производства.** От типа производства (единичное, серийное, массовое) зависит характер технологического процесса. Тип производства определяют по коэффициентам закрепления операций и серийности (см. главу 1).

**Определение вида и размера заготовки.** Её производят, исходя из материала детали и его технологических свойств (способности пластически деформироваться, литейных свойств и др.); формы и размеров детали; условий работы деталей; масштаба производства. Более подробно этот вопрос разобран в п. 2.1.

**Составление плана обработки детали (установление порядка операций).** При составлении плана обработки детали руководствуются общими положениями. Операции назначают, исходя из конструктивных форм, размеров детали и типа производства; в первую очередь обрабатывают те поверхности



детали, которые будут базами для последующей обработки; после базовых поверхностей обрабатывают поверхности, с которых снимают наибольшие слои металла; отделочные операции выполняют в конце обработки; операции механической обработки увязывают с термическими операциями.

Конструктивные формы и размеры детали являются исходными факторами, определяющими характер и последовательность обработки детали. Так, черновую обработку деталей типа тел вращения производят на токарных станках, а детали с плоскими поверхностями обрабатывают на фрезерных и строгальных станках. Чистовую обработку деталей типа тел вращения ведут на круглошлифовальных станках, а деталей с плоскими поверхностями – на плоскошлифовальных станках. Зубья на зубчатом колесе с внутренними зубьями могут быть получены только методом зубодолбления.

Размеры деталей определяют выбор типоразмера станков, в некоторых случаях – и метод обработки. Так, зубчатые колеса малых модулей экономичнее изготавливать зубодолблением, а крупных модулей – зубофрезерованием червячными фрезами.

Масштаб производства влияет на выбор применяемых методов обработки и станков. Например, черновую обработку плоских поверхностей в условиях единичного производства чаще ведут на строгальных станках, а в условиях серийного и массового производства – на фрезерных. Для изготовления мелких деталей типа тел вращения применяют при единичном производстве универсальные токарные станки, при серийном – токарно-револьверные, при массовом – токарные автоматы и полуавтоматы.

Обработка в первую очередь базовых поверхностей повышает точность последующей обработки. Характерным примером является предварительная обработка центровых гнезд при точении валов; последующую обработку валов ведут с использованием центровых гнезд в качестве баз.

При построении плана обработки стремятся к тому, чтобы каждая последующая операция была точнее предыдущей, поэтому в качестве первых операций механической обработки назначают операции, при выполнении которых

снимают наибольшие слои металла. Это обусловлено, во-первых, тем, что при снятии больших слоев металла легче обнаружить дефекты заготовки (трещины, раковины, включения и т. п.), во-вторых, при снятии с заготовок припусков вследствие перераспределения напряжений возможно их коробление. При последующей чистовой обработке коробление будет минимальным.

Отделочные операции располагают в конце цикла обработки для уменьшения возможности повреждения окончательно обработанных поверхностей. Отделочные обработки выбирают в зависимости от требуемых чертежом точности и класса шероховатости поверхности.

Операции, связанные с механической обработкой детали, должны быть увязаны с термическими операциями. Часто закалку с низким отпуском проводят перед шлифованием, закалку с высоким отпуском (улучшение) – между черновой и чистовой обработкой точением, фрезерованием, строганием. Перед процессом механической обработки заготовки (отливки, штамповки, поковки) часто подвергают отжигу или нормализации.

При разработке плана обработки общий припуск распределяют по отдельным операциям и определяют операционные (межоперационные) размеры.

**Выбор станков для отдельных операций.** Станок выбирают по паспортам, каталогам, по фактическому наличию в соответствии с характером обработки, требованиями к точности и шероховатости поверхности на данной операции, размерами обрабатываемой детали, масштабом производства.

Размеры станка должны соответствовать размерам обрабатываемой детали. Необходимо стремиться к максимально эффективному использованию станка по мощности и времени.

При выборе станка важным фактором является его стоимость и себестоимость обработки на нем детали. При прочих равных условиях отдают предпочтение более дешевому станку или станку, обеспечивающему минимальную себестоимость обработки. Если дорогому станку соответствует минимальная себестоимость обработки детали, то следует определить экономическую целесообразность приобретения такого станка.

При выборе станков следует также учитывать необходимость использования имеющихся в наличии станков и реальную возможность приобретения того или иного станка. Экономическое обоснование при выборе станков и роботизированных технологических комплексов (РТК) определяется из условия замены рабочего промышленным роботом.

В единичном производстве применяют универсальные станки, в серийном – специализированные с программным управлением, а в массовом – специальные (автоматы, полуавтоматы, агрегатные и др.).

**Разработка отдельных операций.** При разработке отдельных операций выполняют следующие работы:

- выбирают базы;
- разбивают операцию на отдельные переходы;
- выбирают (или при необходимости проектируют) режущий и измерительный инструмент;
- выбирают или проектируют необходимое приспособление;
- назначают режимы резания;
- подсчитывают штучное время;
- определяют разряд квалификации работы;
- рассчитывают потребное число станков.

**Расчет потребного числа станков.** Номинальный годовой фонд рабочего времени станка (оборудования)

$$\Phi_H = 52 \cdot 40 + 8p - 8n_1 - n_2,$$

где 52 – число недель в году; 40 – число рабочих часов в неделю; 8 – число рабочих часов в день;  $p = 1$  – обычные годы;  $p = 2$  – високосные годы;  $n_1$  – число праздников в году,  $n_1 = 10$ ;  $n_2$  – число праздничных дней, когда рабочее время сокращается на 1 ч,  $n_2 = 8$ .

Тогда в обычные годы

$$\Phi_H = (52 \cdot 40 + 8 - 80 - 8) = 2000K,$$

в високосные годы

$$\Phi_H = 2008K,$$

где  $K$  – число смен работы станка в сутки.

Приведенная формула для расчета номинального годового фонда рабочего времени станка  $\Phi_H$  является приближенной, так как не учитывает возможного совпадения праздников с выходными днями.

Действительный годовой фонд времени станка, т. е. фонд времени с учетом простоя станка из-за ремонтов,

$$\Phi_D = \Phi_H K_1,$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий простои оборудования из-за ремонта,  $K_1 = 0,94...0,97$ . Меньшее значение принимают для сложных станков (простои 6 %), большее – для остальных станков (простои 3 %).

В случае невозможности подмены рабочих при их болезни, отпуске, выполнении общегосударственных обязанностей приходится также учитывать простои оборудования из-за отсутствия рабочих.

Тогда

$$\Phi_D = \Phi_H K_1 K_2,$$

где  $K_2$  – коэффициент, учитывающий простои оборудования из-за отсутствия рабочих,  $K_2 = 0,92$ .

Для определения потребного числа станков необходимо знать годовую производственную программу выпуска деталей:

$$\Pi_D = \Pi_M n \left( 1 + \frac{\alpha}{100} \right),$$

где  $\Pi_M$  – годовая программа выпуска машин (изделий);  $n$  – число деталей на одну машину (изделие);  $\alpha$  – число запасных частей от общего числа деталей, %.

Расчетное (теоретическое) число станков для  $i$ -й операции при массовом производстве

$$z'_i = \frac{T_{ш} \Pi_D}{\Phi_D \cdot 60},$$

где  $T_{ш}$  – штучное время на  $i$ -ю операцию, мин;  $\Pi_d$  – годовая программа выпуска данных деталей, шт.;  $\Phi_d$  – действительный годовой фонд времени станка, ч.

Поскольку

$$\frac{\Pi_d}{\Phi_d \cdot 60} = C = \frac{1}{\tau},$$

где  $C$  – темп выпуска, число деталей в минуту;  $\tau$  – такт выпуска, мин, то для массового производства расчетное число станков

$$z'_i = \frac{T_{ш}}{\tau}.$$

Для серийного производства расчетное число станков для  $i$ -й операции

$$z'_i = \frac{\sum_1^k (T_{шi} n_d + T_{п.з} K)}{\Phi_d \cdot 60},$$

где  $n_d$  – число деталей в одной партии;  $T_{п.з}$  – подготовительно-заключительное время для деталей одной партии, мин;  $K$  – число партий / деталей в году.

Поскольку величина  $z'_i$  обычно получается дробной, то ее округляют до целого числа, например  $z'_i = 0,82 \approx 1$ .

#### 8.4. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ

**Техническим нормированием** называется определение норм времени (норм выработки в единицу времени) на отдельные операции.

**Техническая норма времени на операцию** – минимально необходимое время в заданных условиях работы. С ростом уровня производства техническая норма времени имеет тенденцию к уменьшению.

Технические нормы времени используют для расчета производственной мощности рабочего места, участка, цеха, а также для определения затрат на зарплату рабочим и калькулирования себестоимости обработки.

Время, затрачиваемое на данную операцию, называют штучным.

**Штучное время, мин,**

$$T_{\text{ш}} = T_0 + T_{\text{в}} + T_{\text{об}} + T_{\text{л.п.}}$$

Технологическое (основное) время  $T_0$  – время, затрачиваемое непосредственно на обработку заготовки, т. е. на изменение ее формы, размеров, свойств и т. д.; при сборке машин – это время непосредственной сборки.

Основное время может быть машинным (например, точение детали с автоматической подачей), машинно-ручным (например, точение детали с ручной подачей) и ручным (ручное опилование, рубка зубилом и т. п.).

Вспомогательное время  $T_{\text{в}}$  – время, затрачиваемое на вспомогательные действия рабочего, непосредственно связанные с основной работой (установка, закрепление и снятие обрабатываемой заготовки, управление станком, измерение детали и др.). Это время, затрачиваемое на каждую деталь, мин.

$$T_{\text{в}} = T_{\text{уст}} + T_{\text{упр}} + T_{\text{изм}},$$

где  $T_{\text{уст}}$  – время на установку, закрепление и снятие заготовки;  $T_{\text{упр}}$  – время на управление станком, затрачиваемое на каждый рабочий ход (проход);  $T_{\text{изм}}$  – время на измерение детали.

Время обслуживания рабочего места  $T_{\text{об}}$  – время, затрачиваемое на уход за рабочим местом, отнесенное к данной операции. Время обслуживания рабочего места складывается из времени организационного обслуживания (осмотр и опробование оборудования, раскладка и уборка инструмента, смазка, очистка станка) и времени технического обслуживания (регулировка и подналадка станка, смена и подналадка режущего инструмента, правка шлифовальных кругов и т. п.). Основным отличием отдельных элементов времени обслуживания рабочего места от вспомогательного времени является то, что все элементы вспомогательного времени (установка и снятие заготовки, управление станком и др.) затрачиваются на каждую деталь, а элементы времени обслуживания рабочего места (смена инструмента, уборка станка и др.) затрачиваются на несколько деталей и на данную операцию накладываются лишь частично.

Время на личные потребности  $T_{л.п}$  – время, затрачиваемое рабочим на личные потребности и при утомительных работах – на дополнительный отдых.

Сумму основного и вспомогательного времени называют оперативным временем:

$$T_{оп} = T_о + T_в.$$

Оперативное время – основная составляющая штучного времени. Время на обслуживание рабочего места и время перерывов в работе обычно берут в процентах от оперативного времени (коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$ ). В зависимости от характера и масштаба производства время обслуживания рабочего места составляет  $K_1 = 3...8 \%$  от оперативного времени. В некоторых справочниках принимают  $K_1 + K_2 = 10 \%$ .

$$T_{ш} = (T_о + T_в) \left[ 1 + \frac{K_1 + K_2}{100} \right].$$

При обработке партий деталей (единичное и серийное производство) вводят понятие штучно-калькуляционного времени  $T_k$ , которое кроме штучного времени включает еще подготовительно-заключительное время, приходящееся на одну деталь:

$$T_k = T_{ш} + \frac{T_{п.з}}{n}.$$

Подготовительно-заключительное время  $T_{п.з}$  – время, затрачиваемое на получение наряда, ознакомление с работой, получение недостающих инструментов и приспособлений, переналадку станка и приведение средств производства в первоначальный порядок после завершения работ. В калькуляционном времени это время берут на одну деталь, т. е. делят на число деталей в партии  $n$ .

**Норма выработки** представляет собой количество продукции, произведенное в единицу времени (смену, час). При 8-часовом рабочем дне норма выработки за смену, шт.,

$$H = \frac{480}{T_k}.$$

**Норму времени** определяют двумя методами – расчетом и хронометражем.

При определении технической нормы времени расчетом для каждого перехода операции по нормативным (справочным) данным устанавливают режим резания и рассчитывают по соответствующим формулам основное (машинное) время.

На основе нормативных материалов устанавливают вспомогательное время для данной операции. Определив по тем же нормативам время на отдых и личные потребности, находят значение штучного времени. После определения подготовительно-заключительного времени рассчитывают калькуляционное время.

При определении нормы времени хронометражем данную операцию разделяют на переходы и приемы. *Например*, если токарная операция обработки диска состоит из одного перехода, то содержание приемов следующее: 1) установить деталь на оправку, подвести резец, установить резец на размер, включить шпиндель, подачу; 2) точить по диаметру; 3) выключить подачу, выключить шпиндель, отвести резец, снять и положить деталь.

Время на переход и приемы определяют хронометром и записывают в хронометражную карту. Для большей достоверности результатов наблюдений обрабатывают не одну деталь, а несколько. Отдельные числа, относящиеся к длительности переходов и приемов, резко отличающиеся от остальных чисел, исключают. Чтобы установить, какие числа необходимо исключить, пользуются коэффициентом устойчивости хроноряда (1,2...1,8), который зависит от продолжительности элементов операции.

После исключения из хронорядов резко отличающихся значений устанавливают продолжительность каждого элемента операции, которую принимают равной среднему арифметическому для данного ряда наблюдений. В ранее приведенном примере суммарное время элементов 1) и 3) дает вспомогательное время  $T_B$ , а время элемента 2) – машинное время  $T_O$ . Штучное время определяют расчетом, используя справочные значения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ .



## 8.5. ДОКУМЕНТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Документация технологического процесса (ТП) включает технологические карты, чертежи приспособлений, режущего и измерительного инструмента.

В нашей стране действует **единая система технологической документации (ЕСТД)**, установленная государственными стандартами. Эта система является составной частью **единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП)**. ЕСТД определяет правила и положения о порядке разработки, оформления, комплектации и обращения технологической документации, создаваемой и применяемой всеми организациями и предприятиями машиностроения и приборостроения.

Стандарты ЕСТД устанавливают во всех организациях и на предприятиях страны единые правила, обеспечивающие стандартизацию обозначений и унификацию форм технологических карт и других необходимых документов; возможность использования средств вычислительной техники; возможность обмена технологическими документами между различными организациями и предприятиями без их переоформления; стабильность и комплектность технологических документов. Стандарты ЕСТД способствуют подъему машиностроительного производства на более высокий уровень и повышению технологической дисциплины.

В зависимости от масштаба производства различают три степени детализации описания ТП: маршрутное (единичное), маршрутно-операционное (серийное) и операционное (крупносерийное и массовое производство).

При **маршрутном описании** ТП операции даны кратко, в виде перечня, определены нормы штучного времени, разряд работ. Последовательность обработки и режимы резания устанавливает на каждой операции станочник. При **маршрутно-операционном описании** ТП отдельные более сложные операции описывают более подробно с определением последовательности обработки и установлением режимов резания. При **операционном описании** ТП все опера-

ции разрабатывают подробно с определением последовательности обработки, режимов резания, полученных результатов.

В ГОСТ 3.1404–86 «Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием» приведены все формы технологических документов и правила их заполнения. Основные из них: маршрутная карта (МК), карта эскизов (КЭ), карта технологического процесса (КТП), операционная карта (ОК).

**Маршрутную карту** применяют при маршрутной, маршрутно-операционной степени детализации описания ТП, для описания единичных технологических процессов (ЕТП). Она содержит данные о заготовке, оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах.

**Карта эскизов** (при единичном производстве можно не применять) содержит графическую иллюстрацию технологического процесса (операции) изготовления детали. При этом соблюдают следующие основные правила:

- заготовку на эскизе располагают так же, как и на станке (горизонтально, вертикально, наклонно);
- при многопозиционной обработке эскизы делают для каждой позиции отдельно (кроме загрузочной);
- обрабатываемые поверхности показывают толстыми линиями черным (красным) цветом;
- обозначают базы;
- на все обрабатываемые на данной операции поверхности проставляют размеры с допусками;
- на все обрабатываемые поверхности проставляют обозначения шероховатости поверхности;
- дают цифровое обозначение поверхностей согласно полной или сокращенной записи содержания переходов обработки резанием.

**Карту технологического процесса** на обработку детали дают при операционной технологии. Заполнение в зависимости от масштаба производства мо-

жет быть различным: при единичном производстве – частичным, при крупно-серийном и массовом – полным.

**Операционную карту** при операционной технологии оформляют на каждую операцию. Она содержит данные о материале заготовки, наименование станка, технологию обработки и контроля с режимами резания, данные о штучном времени и его элементах, эскиз обрабатываемой на данной операции заготовки с указанием баз, размеров и шероховатости обработанных поверхностей детали.

Кроме перечисленных, имеются формы операционных карт для обработки на одношпиндельных автоматах и полуавтоматах, на многошпиндельных токарных автоматах и полуавтоматах продольного точения, на автоматических линиях, а также карты наладки инструмента и др.

В карту технологического процесса записывают все операции технологического процесса, включая термическую обработку и окончательный контроль.

Операции нумеруют по порядку: 005, 010, 015 и т. д.

Наименование операций определяется типом станка независимо от характера выполняемой работы. Например, токарно-винторезная, токарно-револьверная, токарно-карусельная, автоматная токарная, горизонтально-фрезерная, вертикально-фрезерная, координатно-сверлильная, фрезерно-центральная, поперечно-строгальная, долбежная, круглошлифовальная, плоскошлифовальная, резьбошлифовальная и т. д. Операции обработки на автоматических линиях называются автоматно-линейными, а на агрегатных станках – агрегатными. Обработку на станках с ЧПУ записывают так: токарная с ЧПУ, шлифовальная с ЧПУ и т. д. Допускается использовать сокращенную форму записи операций: токарная, сверлильная, фрезерная, строгальная, протяжная, шлифовальная, отделочная (хонинговальные, суперфинишные, доводочные, полировальные станки), зубообрабатывающая (зубофрезерные, зубострогальные, зубошлифовальные и другие станки) и т. д.

Наименование слесарных операций: слесарная, гибка, зенковка, керновка, нарезка, отрезка, опиловочная, полирование, правка, разметка, разрезка,

развертывание, сверлильная, шабровка и др. Наименование сборочных операций: сборка, балансировка, запрессовывание, клепка, склеивание, стопорение, центровка, штифтование, шплинтование, разборка и др.

Любая операция термической (химико-термической) обработки называется «термическая (химико-термическая)» с пояснением сущности и режима операции.

Нумерация основных и вспомогательных переходов должна быть сквозной, последовательной в пределах одной операции. Переходы записывают кратко, в повелительном наклонении. Допускается полная и сокращенная запись содержания переходов при обработке резанием. Например, при подрезке торца детали на токарном станке полная запись будет следующей: «Подрезать торец, выдерживая размер 1» (выдерживаемая длина детали указана на карте эскизов или в эскизе операционной карты).

Вспомогательные переходы записывают так: «Установить, закрепить и снять заготовку», «Переустановить, закрепить и снять заготовку».

Станок называется полным наименованием с указанием модели, например: вертикально-сверлильный 2Н135А.

Режущие, вспомогательные и измерительные инструменты называют полным наименованием, дают обозначение по ГОСТу и номер ГОСТа. Для шлифовальных кругов дают обозначение формы, размеров круга, его характеристики и номер ГОСТа.

Пример полной записи технологических и вспомогательных переходов при обработке втулки (рис. 8.1) приведен ниже.

1. Установить заготовку в трехкулачковый патрон, снять заготовку.
2. Подрезать торец.
3. Точить (сверлить) отверстие, выдерживая размер  $d$ .
4. Переустановить заготовку в трехкулачковый патрон, снять заготовку.
5. Подрезать торец, выдерживая размер  $l$ .
6. Точить поверхность, выдерживая размер  $D$ .

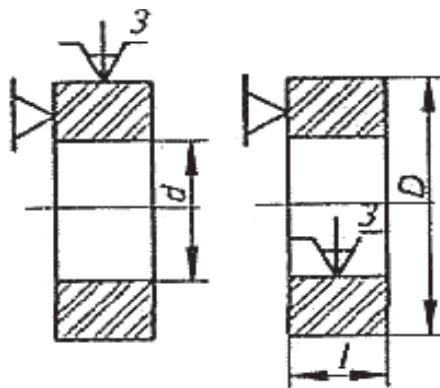


Рис. 8.1. Схема обработки втулки, поясняющая запись переходов

## 8.6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Обычно критерием целесообразности технологического процесса служит его экономичность, в редких случаях – максимальная производительность. Выполнение условия максимальной производительности процесса в некоторых случаях сопровождается увеличением затрат на обработку в результате увеличенного расхода инструмента. Вопрос экономической целесообразности технологического процесса или одной операции решается путем сопоставления себестоимости конкурирующих процессов (операций).

Для определения себестоимости продукции (детали, изделия) существует два основных метода: бухгалтерский и дифференцированный. При бухгалтерском методе себестоимость единицы продукции, руб.,

$$C_1 = M + 3 \left( 1 + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{100} \right),$$

где  $M$  – стоимость материалов за вычетом стоимости отходов, руб.;  $\alpha_1$  – начисления по заработной плате на социальные расходы, %;  $\alpha_2$  – все накладные (цеховые и общезаводские) расходы, %;  $3$  – прямая заработная плата производственных рабочих, руб.

Накладные расходы включают расходы на содержание и амортизацию оборудования, приспособлений и инструмента, на содержание и амортизацию зданий и сооружений, на электроэнергию и топливо, на содержание административно-технического персонала и др.

**Бухгалтерский метод** расчета себестоимости прост, однако малопригоден для оценки экономичности технологического процесса, так как в величину накладных расходов  $\alpha_2$  входят расходы, не зависящие от принятых методов обработки. Он не позволяет оценить влияние производительности труда рабочего на себестоимость единицы продукции.

Более точен **дифференцированный метод** определения технологической себестоимости единицы продукции. При этом для упрощения расчетов при сопоставлении конкурирующих вариантов часто не учитывают те затраты, которые не зависят от технологических процессов и остаются постоянными (например, затраты на внутризаводской транспорт, на текущий ремонт и амортизацию зданий и др.). Таким образом, в этом случае определяют не действительную (полную) себестоимость, а технологическую.

При дифференцированном методе себестоимость единицы продукции, руб.,

$$C_2 = M + З + O + П + И + Э + С ,$$

где  $M$  – стоимость материалов на единицу продукции за вычетом стоимости отходов, руб.;  $З$  – заработная плата производственных рабочих и наладчиков с начислениями на единицу продукции, руб.;  $O$  – расходы на амортизацию и содержание оборудования, приходящиеся на единицу продукции, руб.;  $П$  – расходы на амортизацию и содержание приспособлений и прочей технологической оснастки, приходящиеся на единицу продукции, руб.;  $И$  – расходы на амортизацию и содержание инструментов, приходящиеся на единицу продукции, руб.;  $Э$  – расходы на энергию, потребляемую оборудованием на единицу продукции, руб.;  $С$  – расходы на смазочные, охлаждающие, обтирочные материалы на единицу продукции, руб.

Дифференцированный метод расчета себестоимости продукции позволяет оценивать влияние основных факторов на себестоимость единицы продукции, а также учитывать влияние производительности труда на единицу себестоимости продукции.

Для сопоставления по себестоимости нескольких конкурирующих вариантов технологических процессов применяют графоаналитический метод. Все расходы, из которых складывается стоимость детали, делят на две группы: расходы, прямо пропорциональные количеству изготовленных за определенный отрезок времени (месяц, квартал, год) единиц продукции (заработная плата рабочих и наладчиков, стоимость материалов, расходы на содержание и амортизацию оборудования, приспособлений и инструмента, стоимость электроэнергии); расходы, не зависящие от количества подлежащих изготовлению единиц продукции (расходы на приобретение оборудования, приспособлений, инструментов, на отладку технологического процесса и т. п.). Себестоимость изготовления партии деталей, руб.,

$$C = mx + b,$$

где  $m$  – производственные расходы (первая группа расходов) на единицу продукции;  $b$  – капитальные и периодические расходы (вторая группа расходов на партию изделий).

Себестоимость изготовления одной детали, руб.,

$$C_1 = m + \frac{b}{x}.$$

На рис. 8.2 показан характер величин  $C$  и  $C_1$  в зависимости от числа деталей  $x$  в партии.

Формула  $C = mx + b$  действительна в пределах от  $x = 0$  до  $x = x_1$ . При увеличении числа деталей в партии больше определенного значения ( $x > x_1$ ) число станков, приспособлений, инструментов увеличивается, а следовательно, величина  $b$  скачкообразно возрастает.

При сравнении нескольких конкурирующих вариантов технологических процессов составляют уравнение стоимости партии деталей по каждому варианту. Для примера рассмотрим три варианта обработки детали на станках – токарном, revolverном и автомате:

$$C_1 = m_1x + b_1; C_2 = m_2x + b_2; C_3 = m_3x + b_3.$$

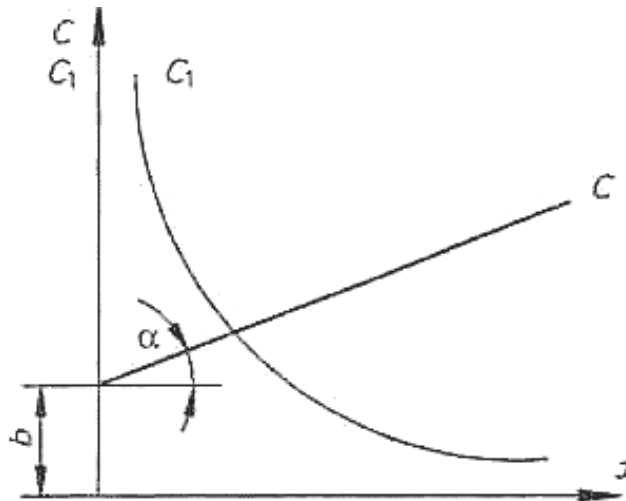


Рис. 8.2. Характер изменения себестоимости партии деталей и себестоимости одной детали в зависимости от величины партии деталей

Для простоты расчетов принимаем, что величины  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  включают стоимость станка, приспособлений, наладки, а величины  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  характеризуют затраты на материалы и зарплату производственным рабочим. Вполне естественно, что  $b_1 < b_2 < b_3$ , так как единовременные затраты для револьверного станка меньше, чем для автомата, и больше, чем для токарного. Полагая, что затраты на материал в трех случаях одинаковы, а зарплата на единицу продукции при работе на револьверном станке меньше, чем на токарном, и больше, чем при изготовлении детали на автомате, имеем  $m_1 > m_2 > m_3$ . Величина  $m$  в уравнении прямой линии является тангенсом угла наклона прямой к оси ( $\operatorname{tg} \alpha = m$ ), и поэтому для револьверного станка прямая располагается под меньшим углом, чем для токарного; для автомата угол наклона еще меньше.

На рис. 8.3 приведено графическое сопоставление себестоимости трех различных вариантов технологического процесса в зависимости от увеличения числа изделий, подлежащих изготовлению. Для первого варианта технологического процесса при  $x = x_1$  число станков, а следовательно, приспособлений и инструментов удваивается, а при  $x = x_4$  утраивается, поэтому график себестоимости имеет характер ломаной линии. Для второго варианта технологического процесса увеличение необходимого числа станков, приспособлений и инстру-



ментов происходит при  $x = x_3$ . При третьем варианте, при котором происходит увеличение потребного количества станков, число деталей  $x$  находится вне пределов графика. Из рис. 8.3 следует, что при  $x < x_1$  наиболее экономичен первый вариант технологического процесса, при  $x_1 < x < x_3$  – второй вариант, при  $x > x_3$  – третий вариант. Таким образом, при числе деталей  $x < x_1$  выгоднее использовать токарный станок, при  $x_1 < x < x_3$  – револьверный станок, а при  $x_1 > x_3$  – токарный автомат.

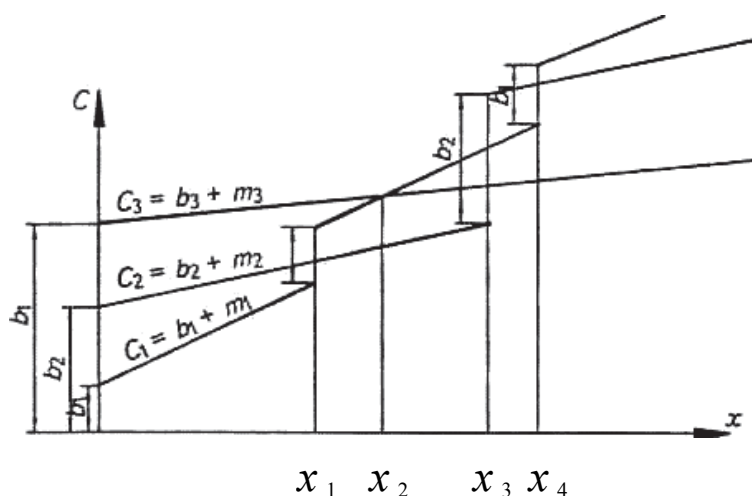


Рис. 8.3. Графическое сопоставление себестоимости трех различных вариантов технологического процесса

Графоаналитический метод сопоставления конкурирующих процессов по себестоимости позволяет выбрать наиболее экономичный вариант технологического процесса с учетом числа выпускаемых деталей.

Приведенные ранее методы оценки экономической эффективности технологических процессов достаточно объективны, если затраты на технологическую оснастку и оборудование для этих вариантов различаются незначительно. Если один из сравниваемых вариантов предусматривает использование дорогостоящего специального оборудования и оснастки, то применяют метод оценки экономической эффективности по приведенным затратам, который учитывает капитальные затраты по сравниваемым вариантам:

$$E = (C_1 - C_2) / (K_2 - K_1),$$

где  $C_1, C_2$  – себестоимость годового выпуска изделий (деталей) по сравниваемым вариантам, руб./год;  $K_1, K_2$  – капитальные затраты по сравниваемым вариантам технологического процесса, руб.

**Коэффициент экономической эффективности капитальных вложений  $E$**  характеризует экономию себестоимости изделий (деталей) вследствие применения нового оборудования и оснастки на 1 руб. капитальных вложений.

Для использования критерия  $E$  установлен нормативный коэффициент экономической эффективности  $E_n$ , который для машиностроительной промышленности равен 0,2 руб. в год на 1 руб. капитальных вложений.

Внедрение нового технологического процесса экономически целесообразно в том случае, если  $E > E_n$ .

$$E = (C_1 - C_2) / (K_2 - K_1) \geq E_n.$$

При сравнении экономичности различных вариантов технологических процессов, связанных со значительными капитальными вложениями, подсчитывают приведенные затраты:

$$Z_{пр} = C_d N + E_n K,$$

где  $Z_{пр}$  — приведенные затраты на осуществление годового выпуска изделий (деталей), руб.;  $C_d$  — себестоимость изготовления одного изделия (детали), руб.;  $N$  – годовой выпуск изделий (деталей), шт.;  $K$  – капитальные вложения на осуществление данного варианта технологического процесса.

Из приведенной формулы для  $Z_{пр}$  следует, что она учитывает не только себестоимость обработки, но и норматив годовой экономии от капитальных вложений ( $E_n K$ ).

Частичную оценку технико-экономической эффективности технологических процессов изготовления детали производят по трудоемкости обработки детали, коэффициенту основного времени, коэффициенту использования материала, коэффициенту загрузки оборудования.

**Трудоемкость обработки детали** равна сумме трудоемкостей всех  $k$  операций, составляющих данный процесс:

$$T = \sum_1^k \frac{T_K}{60},$$

где  $T_K$  – штучно-калькуляционное время обработки данной детали, мин;  
60 – перевод минут в часы;  $k$  – число операций.

В общем случае трудоемкость обработки изделия определяют в человеко-часах, так как некоторые операции (например, сборочные) выполняет не один человек, а несколько.

**Коэффициент основного времени** представляет собой отношение основного времени  $t_0$  к штучному  $t_{ш}$ :

$$\eta_0 = \frac{t_0}{t_{ш}}.$$

Коэффициент машинного времени  $\eta_0$  характеризует долю машинного (основного) времени в общем времени выполнения операции.

При работе стремятся, чтобы коэффициент  $\eta_0$  был возможно выше, так как в этом случае уменьшается вспомогательное (ручное) время. Низкое значение коэффициента указывает на большие затраты времени на вспомогательные операции (установка и снятие заготовок и т. п.). Величина коэффициента основного времени  $\eta_0$  зависит от типа, степени автоматизации станка и продолжительности совмещения вспомогательного времени с основным. Для протяжных станков  $\eta_0 = 0,35...0,45$ , фрезерных непрерывного действия (карусельных, барабанных)  $\eta_0 = 0,85...0,90$ .

**Коэффициент использования материала** представляет собой отношение массы готовой детали  $g$  к массе заготовки  $G$ :

$$\eta_M = \frac{g}{G}.$$

Коэффициент  $\eta_M$  можно определить двумя способами. В первом случае под величиной  $G$  понимают массу заготовки, поступившей на механическую

обработку. Во втором случае под величиной  $G$  понимают массу материала, поступившего для производства заготовки. Например, при изготовлении заготовки шестерни штамповкой можно под величиной  $G$  понимать массу штамповки, а можно и массу проката для получения штамповки. Вполне естественно, что при втором варианте расчета коэффициент  $\eta_M$  получается меньшим, чем при первом.

При разработке технологических процессов стремятся, чтобы коэффициент  $\eta_M$  был возможно выше. Для корпусных деталей (при расчете по первому случаю)  $\eta_M \approx 0,8...0,9$ , для валов  $\eta_M \approx 0,7...0,85$ , для зубчатых колес  $\eta_M \approx 0,35...0,55$ .

**Коэффициент загрузки оборудования по времени** представляет собой отношение расчетного числа станков  $z'_i$  к принятому (фактическому)  $z_i$ :

$$\eta_3 = \frac{z'_i}{z_i}.$$

Стремятся к тому, чтобы величина коэффициента  $\eta_3$  была возможно ближе к единице. В этом случае станок используется максимально. При низком значении коэффициента  $\eta_3$  станок догружают обработкой других деталей.

## 8.7. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Основные составляющие штучного времени (время на обработку одной детали на определенном станке) – основное (машинное) и вспомогательное (на установку и снятие детали, управление станком, измерение детали) время. Сумма времени на обслуживание рабочего места и времени на личные потребности составляет примерно 10 % от суммы основного и вспомогательного времени. Основное время составляет 30...75 % штучного времени. Таким образом, для повышения производительности при работе на станках необходимо прежде всего уменьшить основное и вспомогательное время.

Основное время можно сократить путем снижения числа проходов  $i$ . Для этого следует уменьшить припуски и увеличить глубину резания. Кроме этого, существует еще два пути уменьшения машинного времени – увеличение скорости резания (скоростное резание) и подачи (силовое резание). Первый характеризуется применением инструментов, оснащенных твердыми сплавами. Второй требует соблюдения ряда условий (правильный выбор марки твердого сплава и геометрических параметров режущей части инструмента).

Следует иметь в виду, что при чистовой обработке шероховатость поверхности часто ограничивает подачу. При обдирочных работах последняя может быть ограничена прочностью резца и механизма подачи станка, допустимым вращающим моментом на шпинделе станка. Во всех случаях надо работать с максимальной технологически возможной подачей.

К другим способам повышения производительности механической обработки относятся замена способа обработки на другой более производительный, применение многостаночного обслуживания, многорезцовых и многошпиндельных, агрегатных станков, полуавтоматов и автоматов, станков непрерывного действия, с программным управлением, многоцелевых станков типа «обрабатывающий центр» для обработки корпусных деталей, а также автоматических линий. Например, при обработке плоских деталей замена строгания фрезерованием в большинстве случаев повышает производительность процесса. При использовании обдирочного хонингования крупнозернистыми брусками вместо операции расточки гильз цилиндров при ремонте автотракторных двигателей производительность обработки увеличивается примерно в 2,5 раза.

При использовании многорезцовых и многошпиндельных станков производительность процесса повышается в результате одновременной обработки деталей несколькими инструментами. В фрезерных станках непрерывного действия совмещают основное и вспомогательное время, что приводит к росту производительности. Такой же результат может быть получен при использовании многоместных приспособлений.

Станки с программным управлением в 2...3 раза производительнее обычных, причем их можно применять даже в условиях серийного производства. Производительность многоцелевых станков типа «обрабатывающий центр» повышается благодаря совмещению операций и уменьшению затрат вспомогательного времени.

Большие возможности для повышения производительности открывает организация поточного производства при обработке деталей, автоматизация единичного, мелкосерийного и серийного типов производства, организация гибкого автоматизированного производства (гибких производственных модулей и гибких производственных комплексов).

**Типизация технологических процессов.** На детали одного класса (близкие по форме и размерам) можно составлять типовые технологические процессы.

Типовая деталь объединяет совокупность деталей, имеющих одинаковый план (маршрут) обработки с применением однотипного оборудования, приспособлений и инструмента. При этом производится работа по унификации и нормализации элементов конструкции деталей данной группы. Это повышает серийность производства, позволяет использовать более прогрессивную технологию и сократить номенклатуру режущих и измерительных инструментов.

При полной типизации на группу деталей составляют технологический процесс с разными нормами штучного времени. При неполной типизации (или унификации деталей) технологии группы деталей составляют общий технологический процесс, который используют при разработке технологических процессов для конкретных деталей.

Типизация технологических процессов способствует внедрению прогрессивных методов обработки, повышает серийность производства, сокращает сроки и удешевляет подготовку производства, позволяет использовать типовую переналаживаемую оснастку. Типизация технологических процессов позволяет создавать типовые компоновки специализированного оборудования.

**Групповые технологические процессы.** Дальнейшим развитием способа типизации технологических процессов является способ групповых технологических процессов, разработанный проф. С. П. Митрофановым. При групповой технологии используют поточно-массовое производство вместо непоточного, характерного для серийного производства. Для этого подбирают детали, близкие между собой по форме и размерам (группировка деталей); разрабатывают технологические процессы на группы деталей; проектируют приспособления на группу деталей; организуют производство на групповых поточных линиях с применением более совершенных станков и оснастки.

В групповых поточных линиях оборудование располагают в порядке выполнения операций. Закрепленные за линией детали обрабатывают последовательно партиями. Таким образом, в каждый момент времени линия работает как непрерывно-поточная. Переход от обработки одной детали к другой возможен без переналадки линии либо с частичной переналадкой. Оборудование настраивают на обработку наиболее сложной и трудоемкой детали в группе (ее называют комплексной), другие детали группы обрабатывают с пропуском отдельных операций или переходов. Необходимое условие для осуществления групповых поточных линий – экономия времени обработки закрепленных за линией деталей должна быть больше затрат времени на ее переналадку.

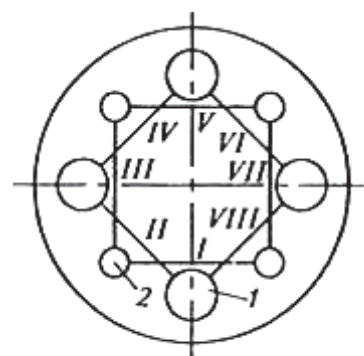
Групповые поточные линии могут быть автоматическими (например, с использованием станков с программным управлением). Распространены групповые наладки токарно-револьверных станков, что объясняется возможностью расположения значительного числа режущих инструментов в револьверной головке и резцедержателе суппорта, а также наличием независимых упоров, ограничивающих подачу. При групповой наладке револьверных станков используют патроны со специальными кулачками (рис. 8.4), позволяющими зажимать обрабатываемые заготовки по наружной и внутренней поверхностям. Групповые наладки револьверных станков сокращают затраты времени на наладку на 50...60 % и обеспечивают повышение их производительности на 40...50 %.



Рис. 8.4. Патрон со специальными кулачками для групповой обработки

К групповой наладке многошпиндельных токарных полуавтоматов можно отнести обработку с двойной индексацией стола. На рис. 8.5 приведена схема двойной индексации стола при наладке токарного вертикального восьмишпиндельного полуавтомата.

При этом обрабатывают две разные заготовки 1 и 2 или одну заготовку с двух сторон. Позиции I и II установочные (на этих позициях снимают уже обработанную и устанавливают новую заготовку). За-



готовку 1 обрабатывают на позициях III – V – VII; заготовку 2 – на позициях IV – VI – VIII.

Двойную индексацию стола многошпиндельных полуавтоматов применяют в

массовом производстве для обработки несложных заготовок, которую можно выполнить инструментами, размещенными в трех позициях восьмишпиндельного полуавтомата.

Групповая обработка заготовок возможна на фрезерных станках. На рис. 8.6 приведены схемы групповой обработки на горизонтально-фрезерном (рис. 8.6, а) и карусельно-фрезерном (рис. 8.6, б) станках.

Применение групповой технологии в серийном и мелкосерийном производстве обеспечивает повышение производительности труда на 20...30 % и сокращение времени наладки станков на 60...80 %.

Рис. 8.5. Схема двойной индексации стола при наладке токарного вертикального восьмишпиндельного полуавтомата



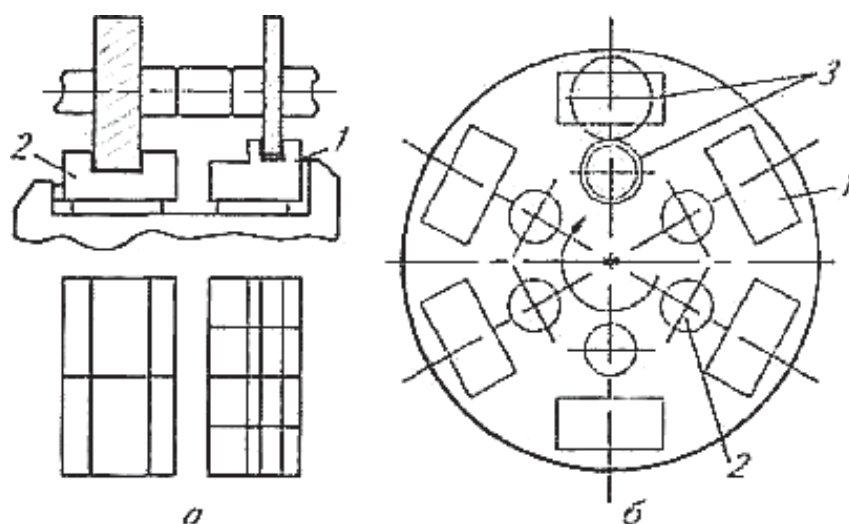


Рис. 8.6. Схемы групповой обработки заготовок:  
*а* – на горизонтально-фрезерном станке; *б* – на карусельно-фрезерном станке;  
 1, 2 – обрабатываемые заготовки; 3 – торцевые фрезы

**Управляющий контроль – залог повышения производительности и точности механической обработки.** Весьма важно в машиностроительной промышленности использование контроля не как средства разделения уже готовой продукции на годную и брак, а как средства, управляющего автоматически или с помощью оператора металлорежущими станками в целях получения размера в заданном допуске, предупреждения и исключения брака, а также для установления оптимальных режимов обработки, обеспечивающих высокую производительность при высоком качестве обрабатываемой поверхности и отклонении формы в пределах соответствующего допуска.

Применение средств управляющего (активного) контроля увеличивает производительность труда, делает возможным многостаночное обслуживание и комплексную автоматизацию технологических процессов металлообработки, позволяет повысить качество обрабатываемой продукции, что обеспечивает, в свою очередь, повышение точности работы, долговечности и надежности различных изделий и машин.

Разнообразие станочного парка, особенно появившихся в конце XX века многоцелевых, многофункциональных и станков с параллельной кинематикой, привело к созданию различных по конструкции систем управляющего активного контроля, условно разделенных на три группы:

- приборы, установленные на станке и контролирующие обрабатываемые заготовки непосредственно в процессе изготовления (автотолераторы);
- приборы, установленные на станке и контролирующие уже обработанные изделия (автоподладчики);
- приборы, установленные на многоцелевых, многофункциональных и станках с параллельной кинематикой (измерительные модули).

Приборы первой группы (автотолераторы) контролируют размеры обрабатываемых заготовок, положение режущей кромки инструмента или положение исполнительных органов станка непосредственно в процессе обработки заготовки и через цепь обратной связи подают команду на прекращение обработки при достижении заданных значений контролируемых параметров. Эти устройства управляют циклом работы металлорежущего станка, область их применения – операции, осуществляемые методом врезания. Классическим примером является изготовление деталей на плоскошлифовальных станках (рис. 8.7)<sup>1</sup>.



Рис. 8.7. Контроль заготовок в процессе их обработки

---

<sup>1</sup> В качестве примера представлен автотолератор (патент на изобретение № 2270415 от 20.02.2006), разработанный в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б. Н. Ельцина на кафедре «Технология машиностроения».

Приборы второй группы (автоподналадчики) по результатам контроля (измерения) изменяют настройку металлорежущего станка, когда значение контролируемого параметра выходит за допустимые границы. Эти приборы в основном используют при обработке на проход (рис. 8.8)<sup>2</sup>.

Автоподналадчики чаще всего устанавливают в зоне выхода обработанных деталей из-под абразивных кругов, что дает возможность быстро реагировать на изменение технологического процесса обработки.

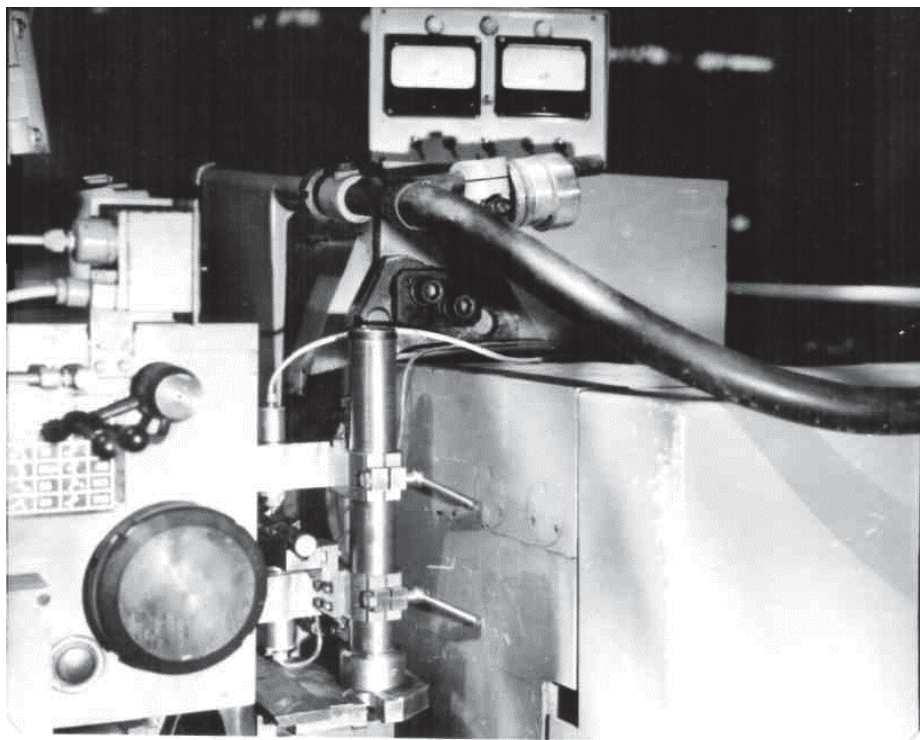


Рис. 8.8. Автоподналадчик на бесцентрово-шлифовальном станке

Приборы третьей группы (измерительные модули) устанавливаются на станках с ЧПУ, многоцелевых, многофункциональных станках, а также на станках с параллельной кинематикой. Первоначальная размерная настройка и текущая подналадка, наблюдение за износом режущего инструмента, своевременная замена износившихся инструментов и введение размерной настройки после такой замены выполняются оператором (наладчиком). Однако в настоящее время все эти функции выполняются автоматически, так как приборы

---

<sup>2</sup> В качестве примера представлен автоподналадчик (патент на изобретение № 2270415 от 20.02.2006), разработанный в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б. Н. Ельцина на кафедре «Технология машиностроения».

оснащены комплексом аппаратных и программных средств, являющихся элементами системы автоматического контроля (САК), основа которых – измерительные модули (ИМ) (рис. 8.9).

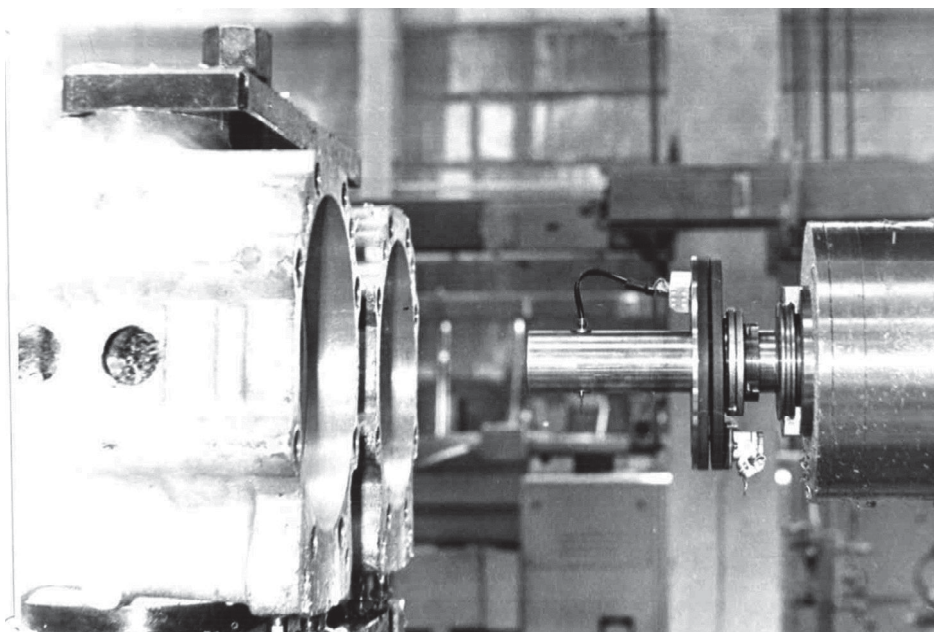


Рис. 8.9. Измерительный модуль готов к работе

При выполнении контрольных операций измерительный модуль (ИМ) устанавливают в одну из позиций инструментального магазина станка. Автооператор смены режущего инструмента при необходимости измерения заготовки (детали) по команде от ЧПУ устанавливает ИМ непосредственно в шпиндель станка. ИМ по программе может проверять перед обработкой положение заготовки в приспособлении-спутнике и установку спутника на столе станка. В дальнейшем ИМ контролирует все обрабатываемые поверхности заготовки и позволяет корректировать весь ход технологического процесса.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие два метода построения технологических процессов применяют при их проектировании?
2. Какое значение имеет конструктивно-технологическая классификация деталей для совершенствования технологических процессов?

3. Какие необходимо иметь исходные материалы для разработки технологического процесса обработки деталей?
4. Какие две задачи решают при проектировании технологических процессов?
5. Какова степень проработки технологического процесса в зависимости от масштаба производства?
6. Перечислите состав работ при проектировании процессов обработки деталей.
7. Назовите общие положения, которыми руководствуются при составлении плана работ (порядка операций) обработки детали.
8. Какие работы производят при разработке отдельных операций?
9. По какой формуле можно определить расчетное количество станков  $z_i'$ ?
10. Что такое техническое нормирование?
11. Что такое техническая норма времени на операцию?
12. Что такое штучное время, из чего оно состоит?
13. Что такое норма выработки?
14. Что входит в понятие «документация технологического процесса»?
15. Как определить себестоимость продукции?
16. Как производят оценку экономической эффективности технологических процессов по произведенным затратам?
17. По каким показателям производят частичную оценку технико-экономической эффективности технологических процессов?
18. Назовите пути повышения производительности механической обработки.
19. В чем заключается типизация технологических процессов? Что такое групповые технологические процессы?

## 9. ОБРАБОТКА ВАЛОВ (КРУГЛЫЕ СТЕРЖНИ)

### 9.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ.

#### ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВАЛОВ

К деталям класса «круглые стержни» относятся прежде всего валы, а также некоторые другие детали машин, отличающиеся от валов отсутствием вращения при работе. Это штоки молотов, трубы, стойки, крупные стяжные болты и т. д. Для деталей «круглые стержни» характерна общность технологии обработки.

В класс «круглые стержни» входят четыре типа деталей:

- валы гладкие и ступенчатые;
- валы пустотелые;
- валы коленчатые, кулачковые и эксцентриковые;
- валы с фасонными поверхностями (валы-шестерни, шлицевые валы и т. п.).

К группе крупных валов К относятся валы длиной  $l > 800$  мм при  $d < 0,5l$  и массе  $G > 10$  кг. Зависимость  $d < 0,5l$  относится ко всем группам деталей этого класса. К группе средних валов С отнесены детали длиной  $l = 800...250$  мм, массой  $G = 3...10$  кг. В группу небольших валов Н включены детали длиной  $l = 250...100$  мм, массой  $G = 3...0,8$  кг. К группе мелких валов М относят валы, у которых  $d < 100$  мм, масса  $G < 0,8$  кг.

Из разновидностей валов наиболее распространены ступенчатые валы. Эти валы длиной 150...1000 мм составляют свыше 85 % общего числа валов, применяемых в машиностроении. Фланцевые валы часто бывают полыми.

Распространенным материалом для валов служат стали марок 35, 40, 45. Ответственные валы делают из легированных конструкционных сталей 40Х, 50Х, 40Г, 50Г и др.

Посадочные места у валов под зубчатые колеса, муфты обычно выполняют по 9...11-му качеству, а в сильно нагруженных валах – по 6...7-му квали-



тету. Шейки под подшипники делают по 6...7-му качеству, а в отдельных случаях – по 5...6-му качеству.

Наиболее часто заготовками для валов служат прокат, прокат с последующим волочением, штамповки.

Заготовки крупных валов изготавливают свободной ковкой или электрошлаковой сваркой из отдельных элементов, полученных ковкой.

Волочение проката обеспечивает 10...11-й класс точности и уменьшает объем последующей механической обработки заготовки валов.

Заготовки для валов в виде штамповок применяют вместо проката тогда, когда это дает экономию металла не менее 10 % при серийном производстве и не менее 5 % при массовом.

## 9.2. ОБРАБОТКА ВАЛОВ

**Правка и обдирка прутков.** Горячекатаная сталь может иметь кривизну до 5 мм на один метр длины, поэтому прокат (после волочения) подвергают правке на двух- или шестивалковых правильных станках. Пруток 3 (рис. 9.1)

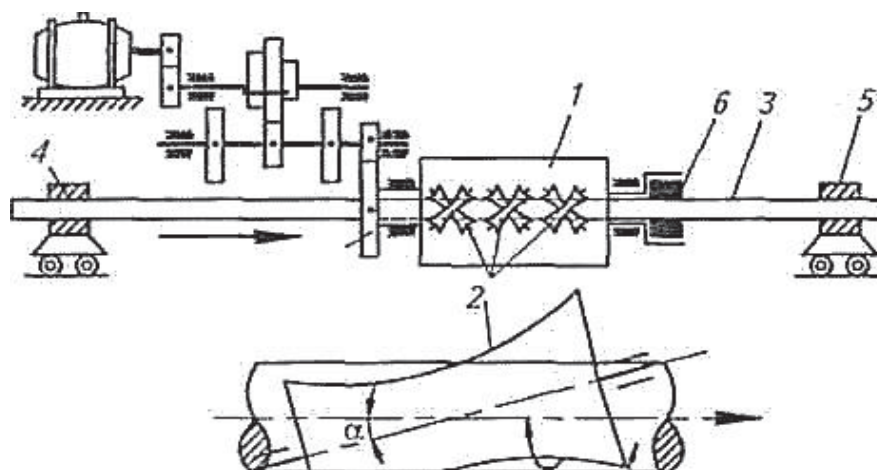


Рис.9.1. Схема станка для правки прутков

перед правкой закрепляют в специальных тележках. Станок имеет барабан 1, вращающийся от электродвигателя через трехскоростную коробку скоростей. В

барабана размещены три пары роликов 2, имеющих форму гиперболоида вращения; оси роликов размещены в подшипниках. Пруток 3 устанавливают между роликами 2 и закрепляют на левой 4 и правой 5 тележках. При вращении барабана ролики, расположенные под углом  $\alpha$ , заставляют пруток перемещаться по оси вместе с тележками со скоростью 5...30 м/мин. На конце барабана имеются деревянные колодки 6, которые прижимаются к перемещающемуся прутку. Они омываются абразивной смесью и полируют вал. На правильных станках правят прутки диаметром 25... 150 мм.

В зависимости от величины искривления и требуемой точности прутки пропускают через барабан 1...6 раз. Достижимая точность правки 0,1...0,2 мм на один метр длины прутка.

В условиях единичного и мелкосерийного производства правку прутков можно осуществлять на прессах. При этом пруток располагают на двух призмах прогибом вверх, а усилие, создаваемое прессом, прикладывают к наиболее прогнутой части вала. Цанговые патроны на токарных автоматах и револьверных станках требуют применения прутков (труб) точных диаметров, поэтому на этих станках применяют холодноотянутые (калиброванные) или горячекатаные прутки, прошедшие обдирку на специальных бесцентровообдирочных станках. Диаметр прутков 15...80 мм при длине до 7 м. Центральное зубчатое колесо 3 (рис. 9.2) получает вращение от электродвигателя через коробку скоростей. На колесе 3 расположены две резцовые головки: левая – для черновой обдирки и правая – для получистовой. В каждой головке имеется один резец 4 и три сухаря 5, предохраняющие пруток от прогиба под действием сил резания. Пруток 6 подается при помощи роликов 1 с насечкой. Изменяя частоту вращения роликов, можно менять продольную подачу прутка от 175 до 600 мм/мин.



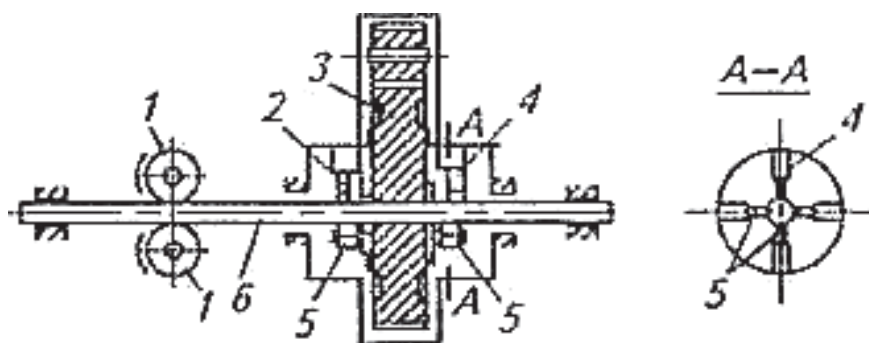


Рис. 9.2. Схема бесцентровообдирочного станка:

1 – ролики; 2, 4 – резцы; 3 – зубчатое колесо; 5 – сухари; 6 – пруток

**Резка заготовок.** В зависимости от условий и масштаба производства резку заготовок осуществляют на прессах, пилах, отрезных (токарных) станках, приводных ножовках.

Резку (рубку) на прессах применяют в массовом или крупносерийном производстве. Схема рубки прутка на прессе показана на рис. 9.3. Пруток подают до упора 1. Затем подвижная часть штампа 2 движется вниз, надрезая пруток. Ножи 4 имеют форму втулки. Рубка на прессе весьма производительна. Недостатки – заминание краев и получение неровного торца.

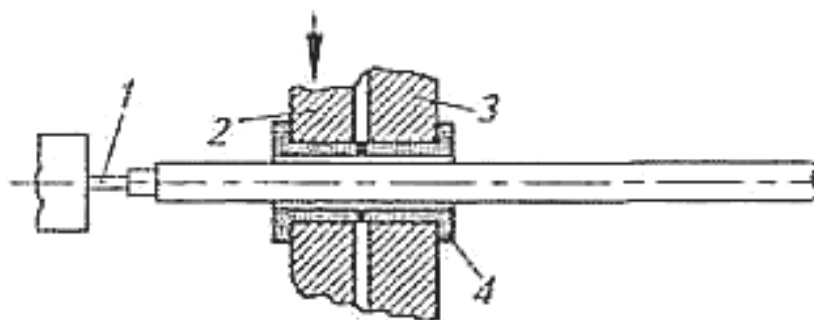


Рис. 9.3. Схема рубки прутка на прессе:

1 – упор; 2 – подвижная часть штампа; 3 – неподвижная часть штампа; 4 – режущие ножи

Пилы для резки заготовок бывают дисковые, ленточные, фрикционные. Дисковые пилы представляют собой диск с прикрепленными сменными зубчатыми сегментами из быстрорежущей стали. Диаметр пил 500...700 мм. Прутки нарезают по одному или пакетом. Дисковые пилы более распространены по сравнению с пилами других систем.

Ленточные пилы представляют собой бесконечную ленту толщиной 1...1,5 мм. Их применяют для резки прутков из цветных металлов.

Фрикционные пилы выполняют в виде стального диска (без зубьев), вращающегося с окружной скоростью 1000... 1400 м/с. Такой вращающийся диск подают на заготовку. Вследствие трения в месте контакта возникают высокие температуры, приводящие к плавлению металла, частицы которого удаляются самой пилой.

Электрофрикционная пила представляет собой фрикционную пилу, к которой подведен один полюс источника электроэнергии. Другой полюс соединяют с разрезаемым прутком. В результате нагрев в месте реза происходит от трения и электрической дуги.

Бывают отрезные станки токарного типа и отрезные полуавтоматы. На токарно-отрезных станках прутки подают через шпиндель и зажимают в цанговом патроне. Пруток нарезается отрезным резцом. Применяют также установку двух резцедержателей – переднего и заднего. В этом случае ставят два отрезных резца, и процесс резки ускоряется.

Отрезной полуавтомат имеет вращающуюся резцовую головку с двумя резцами, получающими подачу в радиальном направлении. Внутри резцовой головки размещен цанговый патрон для прутка. Пруток подают до упора и закрепляют, головка получает вращательное движение и радиальную подачу. В процессе отрезания прутки не обламываются и торцы заготовок не требуют зачистки.

Приводные ножовки разрезают прутки ножовочным полотном, совершающим возвратно-поступательное движение при наличии некоторого давления на ножовку. Один рабочий может обслужить одновременно 5 – 6 ножовок. Производительность ножовок ниже производительности дисковых пил.

**Подрезка торцов валов.** Торцы подрезают на токарных, фрезерных и фрезерно-центровальных станках.

**Центровка валов.** Для получения требуемой точности валы обрабатывают на центровых гнездах, которые бывают без предохранительного

конуса (рис. 9.4, *а*) и с предохранительным конусом (рис. 9.4, *б*). Назначение предохранительного конуса (под углом  $120^\circ$ ) – предохранять рабочую коническую поверхность (под углом  $60^\circ$ ) от забоин при транспортировке валов. Диаметр внутреннего отверстия  $d – 0,5...12$  мм в зависимости от размеров вала.

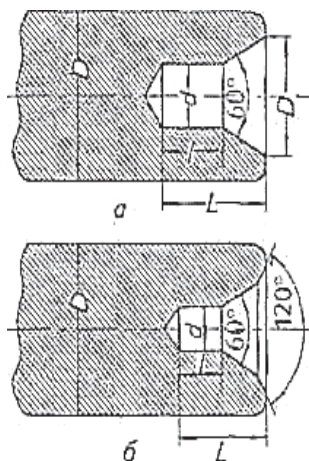


Рис. 9.4. Схема центровых гнезд:

*а* – без предохранительного конуса; *б* – с предохранительным конусом

Центровые гнезда просверливают специальными центровочными сверлами или сверлом и конической зенковкой.

Центруют валы на токарных, сверлильных, центровальных, фрезерно-центровальных, расточных (крупные валы) станках. Особо крупные валы, получаемые свободной ковкой, центруют ручной электрической дрелью с предварительной разметкой на одном торце вала места расположения центрального отверстия.

Схема обработки вала на фрезерно-центровальном станке приведена на рис. 9.5. На позиции I зажимают вал в призмах, на позиции II фрезеруют одновременно два торца в требуемый размер, на III центруют вал с двух сторон.

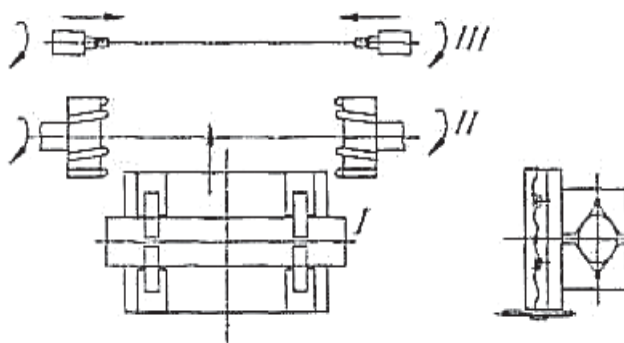


Рис. 9.5. Схема обработки вала на фрезерно-центровальном станке

Точение конических поверхностей на токарных станках осуществляют поворотом средней части суппорта, смещением центра задней бабки, широким резцом, по копировальной линейке. Сущность способов и области применения изложены в курсе «Обработка конструкционных материалов резанием».

**Точение фасонных поверхностей.** Эту обработку производят фасонными резцами (дисковыми, тангенциальными), работающими с поперечной подачей, и обычными резцами, направляемыми по копиру и воспроизводящими заданный профиль детали.

**Обработка эксцентричных и коленчатых валов.** При обработке эксцентричных поверхностей необходимо сместить ось вращения обрабатываемой детали на величину эксцентриситета. Для этого на торцах эксцентричного вала засверливают в одной осевой плоскости по паре центровых гнезд (рис. 9.6) с расстоянием между ними, равным эксцентриситету. Обработку ступени *O* производят на центровых гнездах *C–C*, а ступени *A* – на центровых гнездах *B–B*.

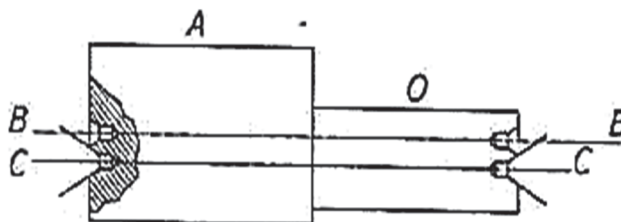


Рис. 9.6. Расположение центровых гнезд у эксцентричного вала

В случае невозможности двойной зацентровки вала обработку ведут следующим образом. Вначале обрабатывают ступень вала большего диаметра, затем – ступени вала меньшего диаметра с закреплением детали по ранее обработанной поверхности в несоосном четырехкулачковом патроне со смещением вала относительно оси центров станка на величину эксцентриситета или в специальном приспособлении с эксцентрично расположенным зажимным приспособлением (например, цангой). Обратная последовательность обработки вала (с меньшего диаметра) ведет к завышению диаметра исходного ма-

териала и снижает коэффициент его использования. Коленчатые валы служат для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное или качательное.

Коленчатые валы обычно обрабатывают на специальных станках. Однако в условиях единичного производства используют универсальные токарные станки, оснащая их необходимыми приспособлениями. При этом схемы обработки коленчатых валов на универсальных и специальных станках бывают аналогичными.

Основные операции механической обработки простого коленчатого вала в условиях единичного производства следующие (рис. 9.7): подрезка торцов и зацентровка вала с двух сторон; точение коренных шеек и подрезка наружных торцов на центрах; точение шатунных шеек и подрезка внутренних торцов при расположении осей шатунных шеек по оси центров станка; отделка коренных шеек; отделка шатунных шеек.

При точении (или шлифовании) шатунных шеек применяют центросместители, которые позволяют совмещать оси центров шатунных шеек с осью центров токарного (круглошлифовального) станка.

Сходную схему обработки применяют при изготовлении сравнительно нежестких коленчатых валов машин строительной индустрии (рис. 9.8, а, б).

Технологический процесс механической обработки такого вала включает следующие стадии обработки: фрезерование торцов; одновременная центровка трех пар центровых гнезд (рис. 9.8, в), обработка на токарных станках с установкой вала на центровые гнезда; шлифование шатунных шеек.

Схема установки вала при точении его длинного конца приведена на рис. 9.8, г, а схема проточки шеек – на рис. 9.8, д.

При шлифовании шатунных шеек коленчатый вал устанавливают так же, как и при точении шеек (рис. 9.8, д).

В массовом производстве применяют также специальные станки для одновременной обработки всех шатунных шеек коленчатого вала по копиру; при

этом оси центров шатунных шеек вала не совмещают с осью центров станка. Схема работы такого станка приведена на рис. 9.9.

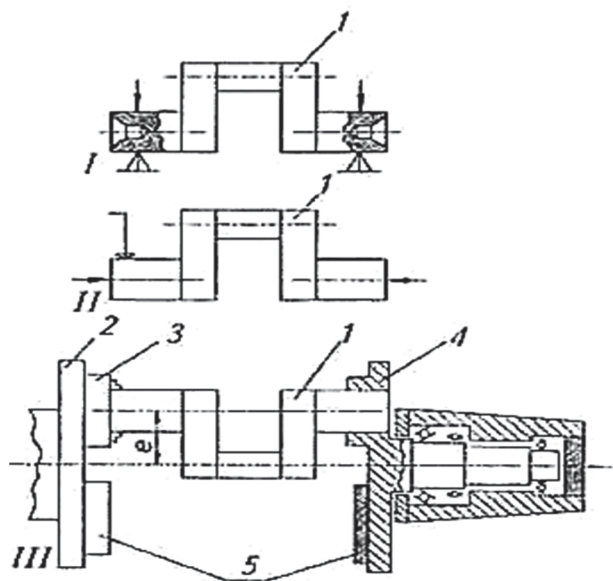


Рис. 9.7. Схема обработки коленчатого вала в условиях единичного производства:

1 – вал; 2 – планшайба; 3 – патрон; 4 – планшайба задней бабки; 5 – противовес;

I, II, III — операции

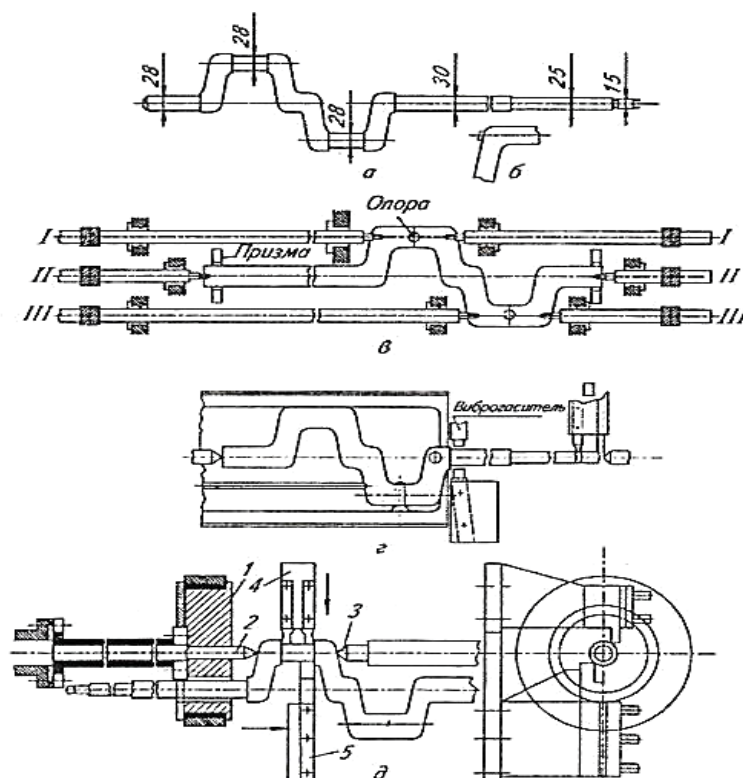


Рис. 9.8. Схема обработки коленчатого вала: а – чертеж вала; б – бобышки для зацентровки; в – центровка вала; г – точение длинного конца вала; д – точение шеек; 1 – патрон; 2 – передний центр; 3 – заданный центр; 4 – резцедержатель продольного суппорта; 5 – резцедержатель поперечного суппорта

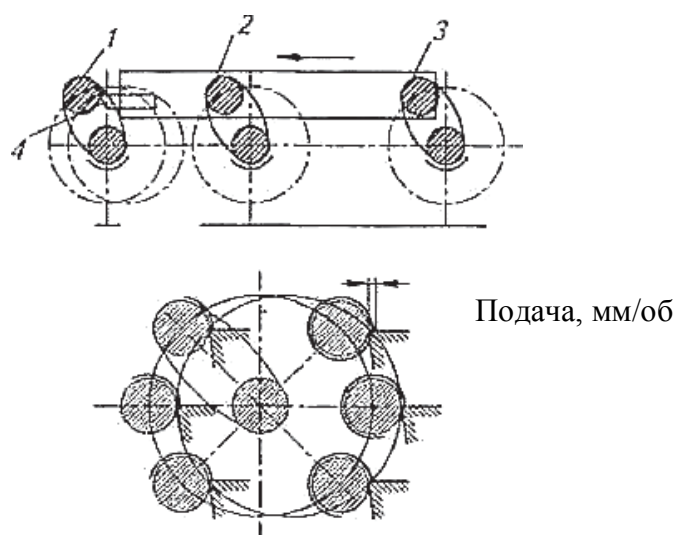


Рис.9.9. Схема работы станка для одновременного точения всех шатунных шеек коленчатого вала: 1 – обрабатываемый вал; 2, 3 – копирные коленчатые валы; 4 – резец

Станок имеет два копирных коленчатых вала 2 и 3, вращающихся синхронно с обрабатываемым валом 1 и управляющих движениями суппортов с резцами 4. Копирные коленчатые валы имеют также поперечную подачу. Обработка шеек и подрезка внутренних торцов вала производятся за один оборот вала.

Сочетание точения шатунных шеек по копиру с точением коренных шеек привело к появлению станков для одновременной обработки всех коренных и шатунных шеек коленчатых валов. Копировальные устройства используют при суперфинишировании всех шатунных шеек коленчатых валов, при точении и шлифовании распределительных валов.

### **Выбор процессов обработки валов в зависимости от точности**

Ниже приведены типовые методы обработки валов в зависимости от их точности.

<i>Квалитет</i>	<i>Метод обработки</i>
12...14-й	Однократное обтачивание
9...11-й	Черновое и чистовое обтачивание
6...9-й	Черновое и чистовое обтачивание, шлифование
5...6-й	Черновое и чистовое обтачивание, предварительное и окончательное шлифование

*Примечание.* При высоких требованиях к классу шероховатости поверхности вводят отделочные операции (суперфиниширование, полирование, притирка).

### 9.3. ОБРАБОТКА ШПОНОЧНЫХ КАНАВОК И РЕЗЬБ

**Обработка шпоночных канавок.** Шпоночные канавки на валах предназначены для призматических и сегментных шпонок. Шпоночные канавки для призматических шпонок бывают закрытыми с двух сторон (глухие), закрытыми с одной стороны и сквозными.

Шпоночные канавки прорезают на горизонтально-фрезерных или вертикально-фрезерных станках общего назначения или специальных.

Сквозные и закрытые с одной стороны шпоночные канавки прорезают дисковыми фрезами (рис. 9.10, *а*) за один или два рабочих хода.

Закрытые шпоночные канавки с закруглениями на концах изготавливают концевыми фрезами за один (рис. 9.10, *б*) или несколько проходов – пальцевой двухперой фрезой маятниковым способом (рис. 9.10, *в*).

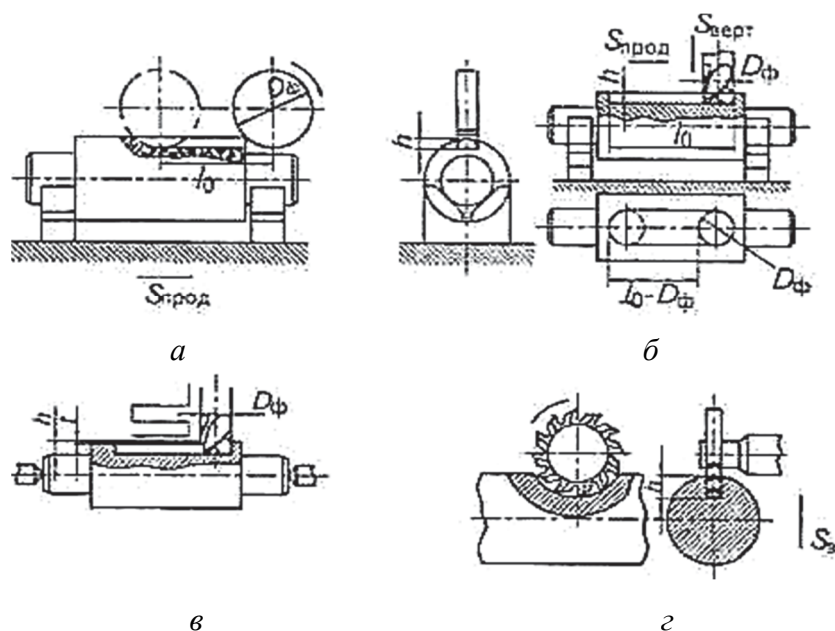


Рис. 9.10. Схемы фрезерования на валах шпоночных канавок: *а* – дисковой фрезой; *б* – пальцевой фрезой; *в* – пальцевой двухперой фрезой; *г* – дисковой фрезой с вертикальной подачей;  $D_{\phi}$  – диаметр фрезы;  $l_o$  – длина канавки



Фрезерование концевой фрезой шпоночной канавки за один проход возможно только в случае использования концевых фрез, допускающих работу с вертикальной (осевой) подачей заготовки (фрезы), т. е. вначале ведут обработку с вертикальной, а затем с продольной подачей. В этом случае фрезы имеют зубья на торце, сходящиеся в центре. При отсутствии этого и наличии на торце фрезы центрального гнезда предварительно засверливают отверстие под концевую фрезу. Только в таком случае возможно фрезерование шпоночной канавки за один проход.

В случае обработки шпоночного паза пальцевой фрезой маятниковым способом в конце каждого хода следует вертикальная подача заготовки на величину порядка 0,1...0,3 мм ( $S_{\text{верт}} = 0,1 \dots 0,3$  мм/ход). Число ходов равно  $h/S_{\text{верт}}$ , где  $h$  – высота шпоночной канавки. Величина продольной подачи  $S_{\text{прод}}$  фрезеруемой заготовки 250...600 мм/мин.

При использовании пальцевой фрезы более распространен маятниковый способ. Он обеспечивает большую точность, так как усилие при резании минимально.

Двухперую концевую фрезу можно получить путем соответствующей заточки сверла диаметром, равным ширине шпоночной канавки. Данные фрезы допускают вертикальную подачу заготовки и поэтому могут нарезать канавки за один проход. Производительность обработки двухперыми фрезами ниже производительности обработки стандартными концевыми фрезами из-за уменьшения числа режущих лезвий.

Образование шпоночной канавки дисковой фрезой по сравнению с нарезанием пальцевой фрезой более производительнее, но менее точно (наблюдается «разбивка» шпоночной канавки по ширине). Продольная подача фрезеруемой заготовки 200...250 мм/мин.

Таким образом, основными способами получения прямоугольных шпоночных канавок являются обработка заготовок дисковыми фрезами и концевыми фрезами маятниковым способом.

Радиусные шпоночные канавки получают обработкой заготовки дисковыми фрезами при наличии вертикальной подачи (см. рис. 9.10, з).

Шпонки в массовом производстве изготавливают из заготовок, получаемых волочением, которое обеспечивает точность поперечных размеров шпонок порядка 10...11-го качества. Заготовки режут (рубят) на части требуемой длины. При точности поперечного сечения шпонок в пределах 9-го качества их обрабатывают на плоскошлифовальных станках.

#### 9.4. МЕТОДЫ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ

Для достижения высокой точности и малой шероховатости наружных цилиндрических поверхностей валов применяют различные виды чистовой отделочной обработки. Основные методы отделочной обработки валов: шлифование, тонкое (алмазное) точение, полирование, суперфиниширование, притирка, обкатывание роликами и др. Метод обработки выбирают, исходя из требований к точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей, а также в зависимости от характера детали.

**Шлифование** – наиболее распространённый метод чистовой обработки наружных поверхностей валов. Обычно при помощи шлифования получают 6...7-й класс точности и 8-й класс шероховатости поверхности ( $R_a \leq 0,63 \cdot Ra$ ).

**Тонкое (алмазное) точение** применяют главным образом для обработки валов из цветных металлов и сплавов (бронзы, латуни, алюминиевых и др.), реже – для обработки валов из чугуна и стали. Шлифование цветных сплавов сложнее шлифования стали и чугуна вследствие засаливания шлифовального круга.

Тонкое точение производят алмазными резцами или резцами, оснащенными твердыми сплавами (например, Т30К4). Обработку производят при малых глубине резания ( $t = 0,05 \dots 0,3$  мм) и подаче ( $s = 0,13 \dots 0,15$  мм/об) и высокой скорости резания ( $v = 100 \dots 1000$  м/мин).

Станки для алмазного точения должны быть быстроходными (частота вращения до  $8000 \text{ мин}^{-1}$ ) и обладать повышенной точностью и жесткостью.

По производительности тонкое (алмазное) точение несколько превосходит шлифование.

**Суперфиниширование** – окончательная обработка предварительно шлифованных поверхностей (чаще наружных цилиндрических) при помощи мелкозернистых абразивных или алмазных брусков, совершающих сложное движение для получения высокого качества поверхности (рис. 9.11). Бруски для суперфиниширования изготавливают из шлиф- и микропорошков. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости применяют керосин с добавкой 5...10 % масла.

При суперфинишировании вал вращается с окружной скоростью 5...15 м/мин, бруски совершают колебательное движение с длиной хода 1,5...6 мм и частотой 250...1000 двойных ходов в минуту, подача вдоль обрабатываемой поверхности 1...2 мм/об. Суперфиниширование повышает точность размеров незначительно, но обеспечивает минимальную шероховатость поверхности, соответствующую 9...14-му классу ( $Ra0,32...Ra0,01$ ).

**Полирование** – обработка деталей при помощи мелкозернистой абразивной (полировальной) пасты, нанесенной на эластичный полировальный круг, который изготовлен из войлока, кожи и парусины. В качестве абразива применяют порошки оксида хрома, крокуса (оксид железа), венской извести, иногда корунда и карбида кремния. Окружная скорость вращения круга при полировании деталей из стали и чугуна 30...35 м/с. Деталь прижимается к кругу силой, равной 20...50 Н.

Полирование обычно применяют для декоративной отделки деталей, а также в качестве подготовительной операции перед никелированием, хромированием и другими гальваническими операциями. Шероховатость поверхности после полирования соответствует 7...12-му классу ( $Ra1,25...Ra0,04$ ).

Схема полирования вала вращающимся полировальным кругом приведена на рис. 9.12, а. Данная схема полирования похожа на схему круглого

наружного шлифования с заменой абразивного круга мягким кругом с нанесенной пастой.

В единичном и мелкосерийном производстве применяют полирование посадочных мест валов на токарных станках «жимком», который вручную или поперечным суппортом прижимают к вращающемуся валу (рис. 9.12, б). «Жимок» представляет собой деревянную колодку, на радиусной поверхности которой закреплены войлок, кожа или наждачная бумага. В случае использования войлока или кожи на наружную поверхность мягкого покрытия наносят абразивную пасту.

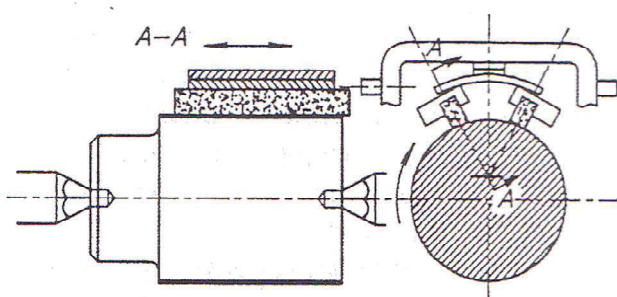


Рис. 9.11. Схема суперфиниширования вала

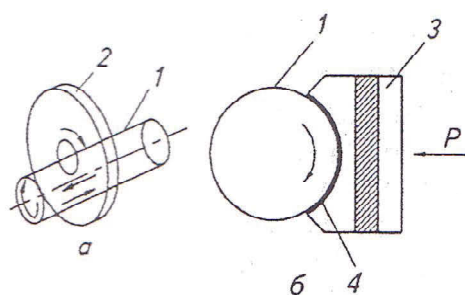


Рис. 9.12. Схема полирования вала:  
а – кругом; б – «жимком»; 1 – деталь;  
2 – мягкий круг; 3 – «жимок»; 4 – фетр,  
шкурка; Р – сила прижима

**Притирка** – процесс обработки поверхности притиром, рабочая поверхность которого шаржирована мелкозернистым абразивным порошком (величина зерна 3...20 мкм), при наличии смазки или специальной пасты. Обрабатываемая деталь при этом вращается и совершает сложное движение. Притиры изготавливают из чугуна, бронзы или меди.

*Шаржирование* – внедрение в рабочую поверхность притира абразивных зерен, которые выполняют роль режущих элементов. В качестве абразивного порошка используют корунд, синтетические алмазы, карбид кремния, оксид хрома, оксид железа и др. Пасты состоят из абразивных порошков и химически активных веществ. Например, в состав пасты ГОИ (Государственный оптический институт) входит абразив в виде оксида хрома и связка – олеиновая и стеариновая кислоты. Пасты ускоряют процесс притирки, так как химически ак-

тивные вещества способствуют окислению обрабатываемого металла, продукты которого затем удаляются абразивными зернами.

В единичном производстве и ремонтных мастерских притирку посадочных шеек валов производят на токарном станке притиром в виде разрезной втулки, внутреннюю поверхность которой смазывают доводочной пастой или покрывают тонким слоем абразивного порошка, смешанного с машинным маслом (рис. 9.13). Втулка 3 вставлена в металлический «жимок» 2 и надета на шейку обрабатываемой детали 4. Болт 1 служит для подтягивания «жимка» 2. При работе притир вручную перемещают вдоль детали. При доводке рекомендуется смазывать обрабатываемую поверхность машинным маслом или керосином.

Доводку производят после шлифования. Припуск на доводку (на диаметр) 5...20 мкм. Скорость вращения детали 10...20 м/мин.

В серийном и массовом производстве притирку производят на специальных притирочных станках (рис. 9.14) с чугунными или (реже) абразивными дисками, расположенными эксцентрично друг другу.

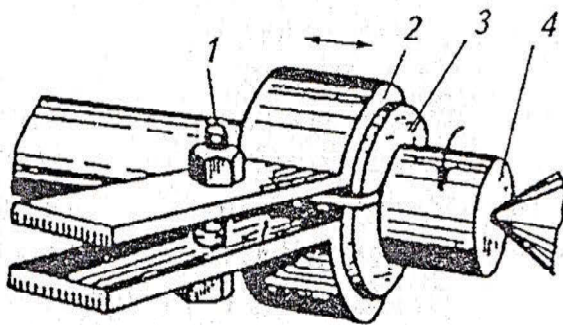


Рис. 9.13. Притирка шейки вала на токарном станке вручную

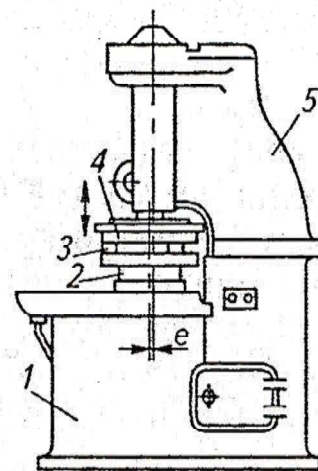


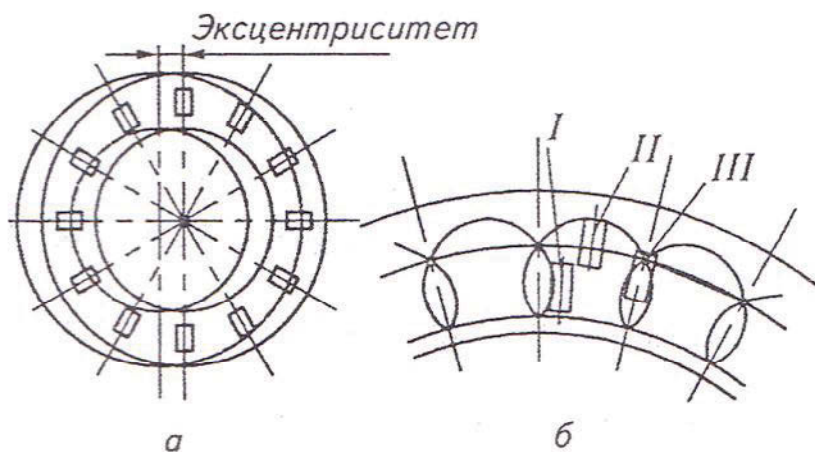
Рис. 9.14. Схема станка для притирки валиков

В станине 1 размещен привод диска 2. Диск 4, установленный на шпинделе станка в колонне 5, вращается и вертикально перемещается (при настройке). Между дисками 2 и 4 размещен сепараторный диск 3, который имеет радиальные гнезда. В них помещают обрабатываемые заготовки, не закрепляя их. Заготовки обрабатывают дисками 2 и 4, на рабочие поверхности которых

наносят мелкодисперсный абразивный порошок, смешанный с полирующей жидкостью, или пасту. Благодаря эксцентриситету во вращающихся дисках (рис. 9.15, *а*) заготовки совершают сложное движение по траектории, показанной на рис. 9.15, *б*.

Припуск на диаметр при притирке  $0,05 \dots 0,1$  мм. Притирка обеспечивает точность по диаметру до 5-го квалитета и шероховатость поверхности  $Ra0,04 \dots Ra0,01$  мкм (12...14-й класс). Притиркой обрабатывают короткие цилиндрические детали, например поршневые пальцы. Притирают также сопрягаемые детали кранов до достижения герметичности.

Рис. 9.15. Схема притирки валиков на станке: *а* – расположение дисков; *б* – траектория движения заготовки; I, II, III – положение деталей



**Обкатка валов** с помощью многошариковых и многороликовых головок – один из прогрессивных методов чистовой обработки. Чаще применяют многороликовые головки из-за их большей производительности по сравнению с многошариковыми, так как они работают с большей величиной подачи. Существует несколько схем обкатывания валов многороликовыми головками. На рис. 9.16 приведена одна из конструкций многороликовой головки, установленной на суппорте токарного станка и перемещающейся вместе с суппортом вдоль обрабатываемого вала. В этой конструкции сепаратор вместе с роликами вращается свободно. Ролики могут быть установлены под углом  $1 \dots 3^\circ$  к оси, что создает самоподачу обкатки вдоль вала. При большом числе роликов (6...12) соответственно увеличивается подача на оборот вала. Подача на ролик составляет  $0,3 \dots 0,6$  мм.

Предварительный натяг (разница между диаметром обрабатываемого вала и внутренним диаметром роликов) равен  $0,1 \dots 0,3$  мм. Обрабатывают валы после чистового точения с шероховатостью поверхности 5...6-го класса ( $Ra5 \dots Ra2,5$ ). Шероховатость поверхности вала после однократного обкатывания соответствует 9...11-му классу ( $Ra0,32 \dots Ra0,05$  мкм).

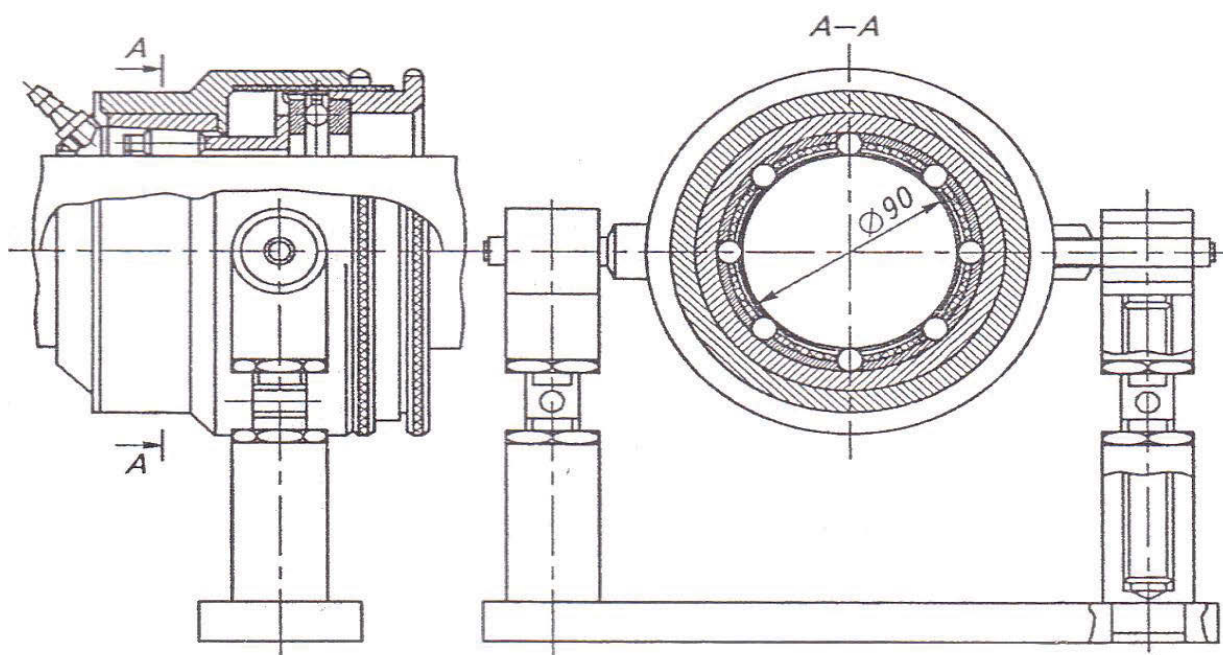


Рис. 9.16. Схема многороликовой головки для накатывания валов

Твердость обрабатываемых валов  $HRC < 40$ . Процесс существенно не повышает точность обработки, которая остается на уровне предшествующей операции. По производительности процесс значительно превосходит шлифование. Характерными деталями для этого процесса являются штоки пневмо- и гидросистем, работающие с кольцевыми резиновыми сальниками, когда точность штока не имеет значения, а требуется высокий класс шероховатости поверхности.



## 9.5. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ

Схема обработки вала приведена в табл. 9.1.

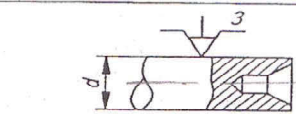
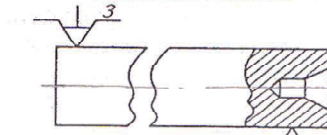
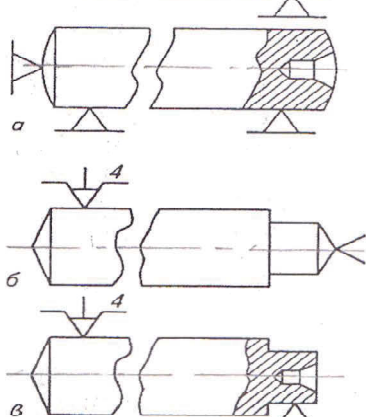
Таблица 9.1

Схема обработки вала			
№ п/п	Эскизы установов	Операция	Приспособление, инструмент
1		Фрезерно-центровальная (фрезеровать и центровать торцы вала с двух сторон)	Зажимные призмы, фрезы торцовые, сверла центровочные
2		Токарная (точить поверхности конца вала)	Поводковая планшайба, центры, хомут, резцы: проходной, подрезной, канавочный
3		Токарная (точить поверхности другого конца вала)	Поводковая планшайба, центры, хомут, резцы: проходной, подрезной, радиусный
4		Фрезерная (фрезеровать шпоночный паз)	Приспособление, фреза пальцевая
5		Шлицефрезерная (фрезеровать шлицы)	Поводковая планшайба, центры, хомут, фреза червячная шлицевая
6		Резьбонакатная (накатать резьбу)	Приспособление, резьбонакатные ролики
7		Шлифовальная (шлифовать поверхности)	Поводковая планшайба, центры, хомут, шлифовальный круг

При отсутствии фрезерно-центрального станка подрезку торцов и центровку вала можно вести на токарном станке. Возможные схемы обработки приведены в табл. 9.2. Вал малого диаметра обрабатывают по варианту обработки I. Вал вставляют в отверстие шпинделя, закрепляют в патроне, после чего производят подрезку и центровку одного конца вала; затем то же самое повторяют с другим концом вала.



Таблица 9.2

Схемы подрезки и центровки валов на токарных станках		
Вариант обработки	Схема	Примечание
I		Заготовка — прокат $d < d_{ш}$ , где $d_{ш}$ — диаметр отверстия в шпинделе
II		Заготовка — прокат
III		Заготовка — поковка а. Разметка и ручная центровка б. Точение шейки под люнет в. Подрезка и зацентровка (вторичная)

Длинные валы большого диаметра из проката вначале крепят одним концом в патроне, а другим — в неподвижном люнете (схема обработки II). В этом положении производят подрезку и центровку вала. Затем повторяют обработку другого конца. Крупные заготовки валов, полученных свободной ковкой, вначале по разметке зацентривают с одного конца (схема III). Затем в патроне и центре точат шейку под люнет (схема II), ставят люнет, подрезают и центруют вал, подпирают вал задним центром и обрабатывают все поверхности, доступные инструменту. Затем аналогично обрабатывают второй конец вала с использованием люнета (как показано на схеме III, в).

**Обработка валов на револьверных станках.** Револьверные станки используют при обработке относительно коротких ступенчатых валиков, осей, болтов и т. п. в условиях серийного производства. Из-за отсутствия задней бабки револьверные станки непригодны для центровых работ; их используют только для прутковых и патронных работ. Из условий требуемой точности обработки без поджатия заготовки центром задней бабки длина валика должна быть менее четырех его диаметров ( $l/d < 4$ ). Инструмент на револьверных станках устанавливают на револьверной головке и суппорте и последовательно

вводят в работу. Пример обработки пальца на revolverном станке приведен на рис. 9.17 (цифрами обозначены номера переходов в процессе обработки).

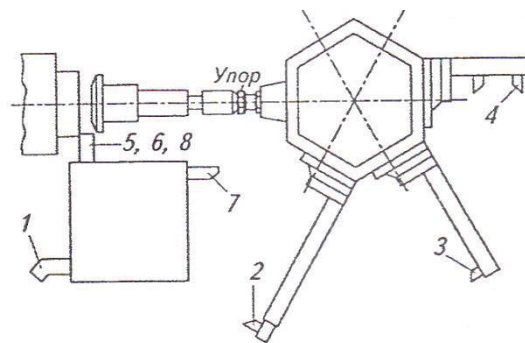


Рис. 9.17. Схема обработки пальца на revolverном станке:  
1–8 – номера переходов

**Обработка валов на многорезцовых станках.** В условиях массового и крупносерийного производства при обработке ступенчатых валов используют многорезцовые станки с двумя суппортами (продольным и поперечным), на которых устанавливают несколько инструментов.

Валы на многорезцовых станках обычно обрабатывают в две операции (на двух станках, которые стоят рядом и обслуживаются одним оператором). На первой операции обрабатывают один конец вала (рис. 9.18, б), на второй – другой конец (рис. 9.18, в).

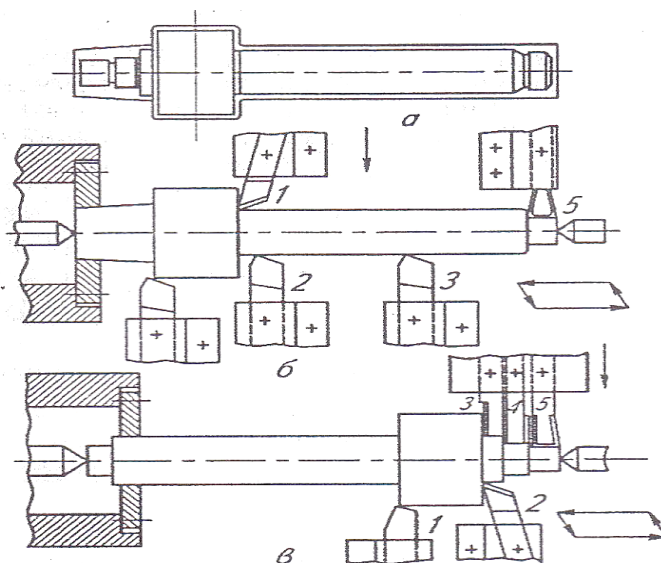


Рис. 9.18. Схема обработки вала-шестерни на многорезцовом станке:  
а – заготовка; б – первая операция; в – вторая операция; 1–5 – резцы

Резцы на многорезцовых станках устанавливают по эталонной, или образцовой, детали. Затем обрабатывают пробную деталь, обмеряют ее и при необходимости корректируют положение резцов в суппортах станка.

Одновременная работа нескольких резцов ведет к появлению больших вращающих моментов, что требует применения усиленных поводковых устройств для вращения валов. Для уменьшения сил резания на этих станках ограничивают подачу (до 0,4 мм/об) и применяют резцы с главным углом в плане  $\varphi = 80 \dots 90^\circ$ .

## 9.6. КОНТРОЛЬ ВАЛОВ

В единичном и мелкосерийном производстве для контроля размеров валов используют универсальные измерительные инструменты: линейки, штангенциркули, предназначенные для измерения наружных и внутренних размеров, штангенреймусы для разметки и измерения высоты и микрометры для более точных измерений.

В серийном и массовом производстве для измерения диаметров валов пользуются гладкими предельными калибрами-скобами.

Для измерения валов диаметром свыше 500 мм применяют измерительные скобы, оснащенные индикаторными головками.

Углы и конусы измеряют с помощью угловых мер, шаблонов, угольников, угломеров, конусных калибров-втулок.

Вместе с тем в современной мировой практике выпуск высококачественных изделий с требуемыми технико-экономическими показателями обеспечивается с помощью систем автоматического и автоматизированного контроля технологических процессов обработки. Реализация функций контроля осуществляется в первую очередь в рамках систем активного управления за счет использования информации о протекании процессов непосредственно в зоне обработки. Характерным примером является широко распространенная на металлообрабатывающих предприятиях система с настольной скобой (рис. 9.19), устанавливаемая на станине станка. Она состоит из скобы 1 с преобразователем первичной информации об изменении размера обрабатываемой заготовки, автоматического подводящего устройства 2, отсчетно-командного блока 3, который регистрирует изменения контролируемого размера и выдает необходимые управляющие сигналы в систему станка.

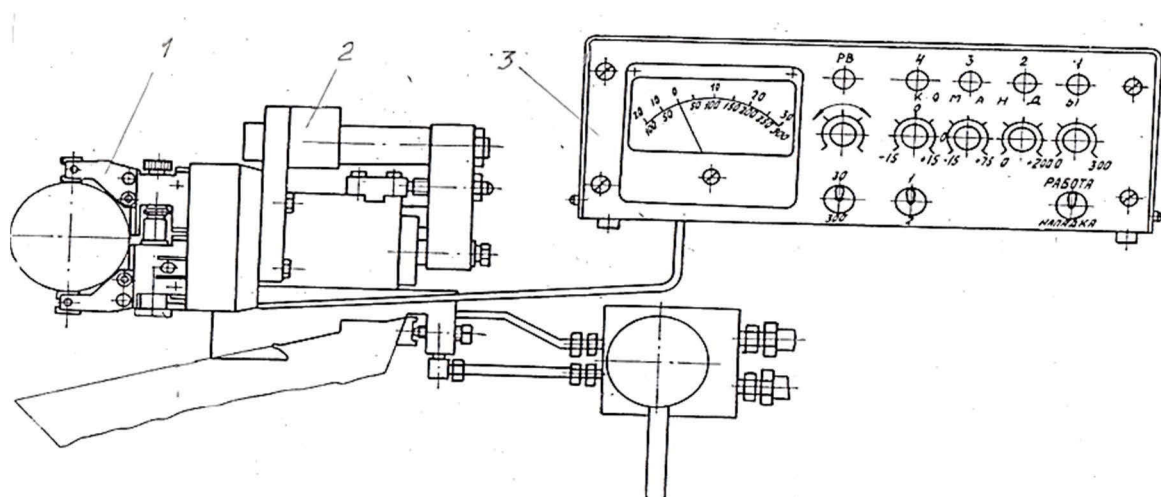


Рис. 9.19. Общий вид системы с настольной скобой

Эти устройства устанавливаются на круглошлифовальные станки различных моделей, как с настольной скобой, так и с навесной (рис. 9.20). Контроль изделий по заданной программе все шире начинает применяться в различных технологических процессах.

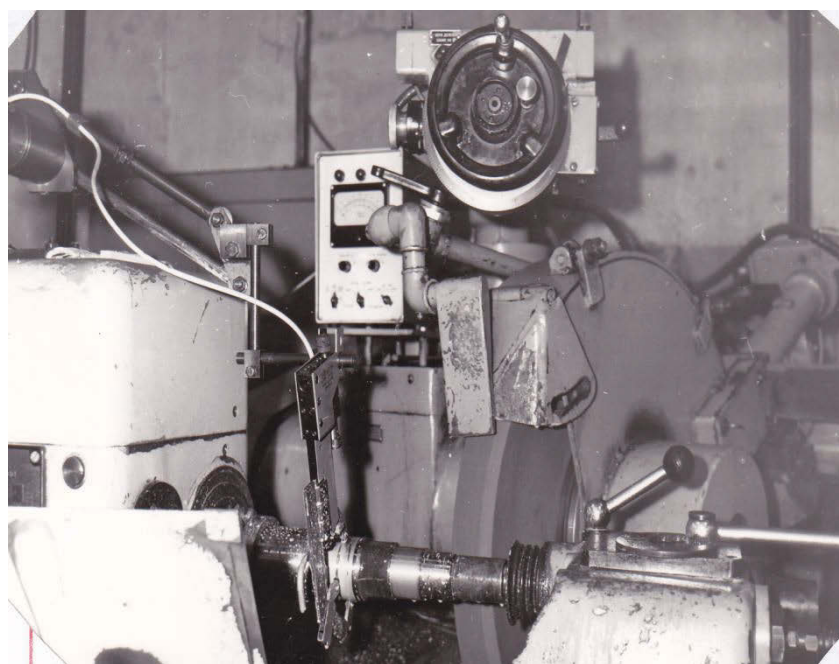


Рис. 9.20. Система активного контроля с навесной скобой на круглошлифовальном станке

На рис. 9.21 показана схема прибора активного контроля типа ХШ-9М, установленного на круглошлифовальном станке мод. 3А151Ц (рис. 9.22). Станок предназначен для шлифования ступенчатых валов в условиях единичного и мелкосерийного производства.

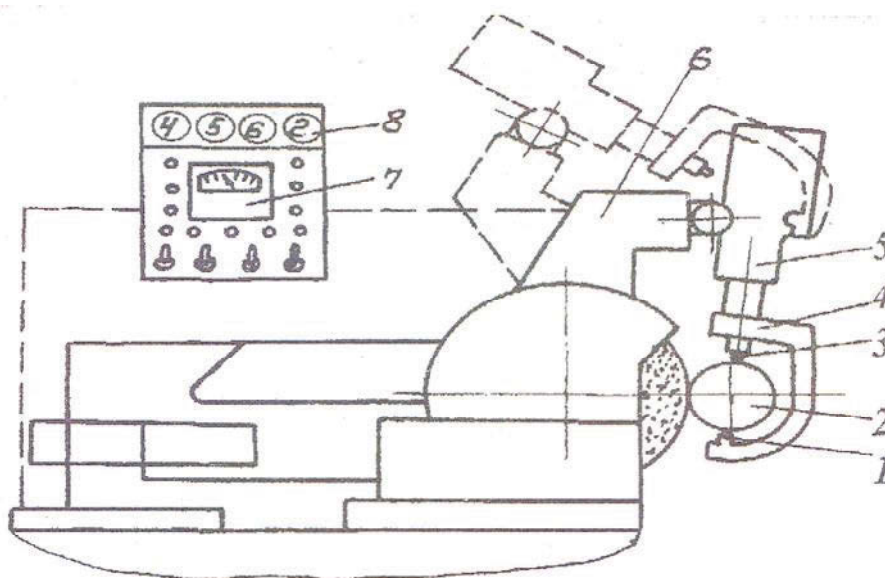


Рис. 9.21. Устройство активного контроля размеров деталей, работающее по заданной программе

Работа станка осуществляется следующим образом. Обработка первой шейки вала начинается с чернового шлифования. Пока происходит черновое шлифование, двухконтактная скоба 4 автоматически настраивается на требуемый размер шейки.

Расстояние между неподвижным 1 и подвижным 3 наконечниками скобы при настройке ее на заданный размер изменяется с помощью перемещения штока первичного преобразователя 5. После настройки кронштейн 6, на котором подвешена скоба 4, автоматически поворачивается из нерабочего положения (показано штриховой линией) в рабочее и наконечники 1 и 3 доводятся до соприкосновения с обрабатываемой шейкой вала 2.

По мере обработки преобразователь 5 переключает поперечную подачу с черновой на чистовую, а по достижении первой шейкой заданного размера вала подает команду на автоматический отвод круга и скобы. После этого стол станка перемещается в продольном направлении так, чтобы против шлифовального круга установилась шейка. Осуществляется подвод круга, и цикл обработки повторяется. По окончании шлифования последней шейки станок автоматически выключается. Наблюдение за правильностью размеров при настройке и в процессе обработки ведут с помощью показывающего прибора 7 и цифрового табло 8.



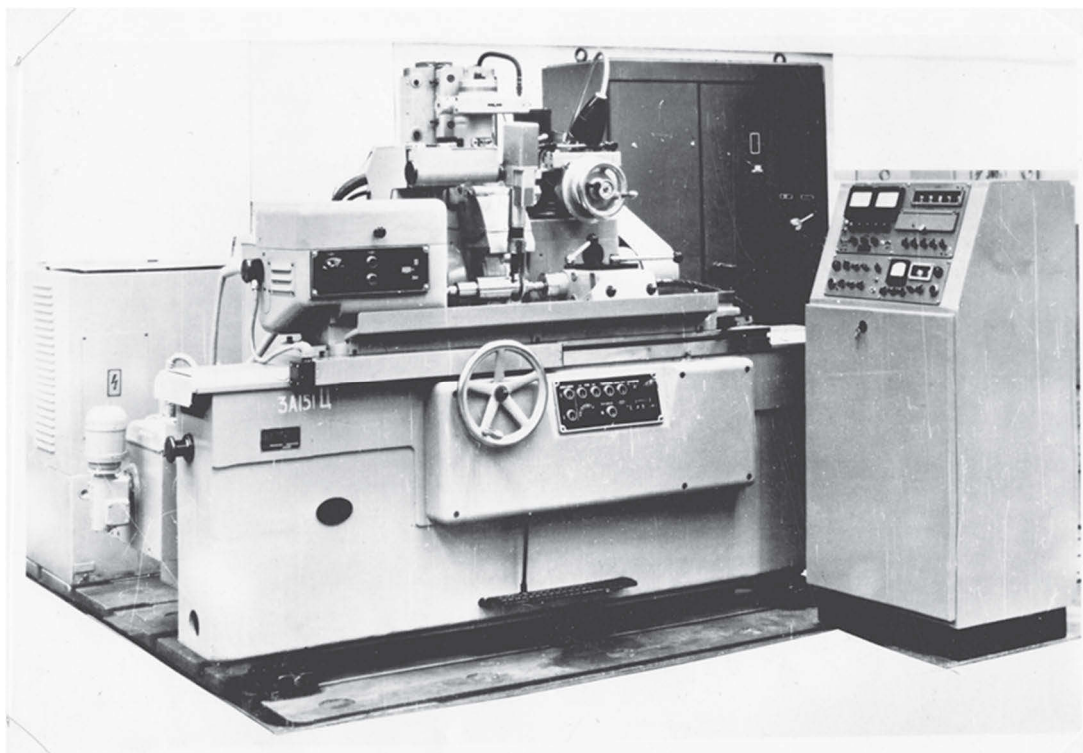


Рис. 9.22. Круглошлифовальный станок 3А151Ц с программным управлением и прибором активного контроля XIII-9, работающим по заданной программе

Команды на автоматическую перенастройку скобы, ее подвод и отвод, а также команда на управление всем циклом работы станка подаются специальным программирующим устройством.

На отечественных предприятиях до сих пор много станков с ручным управлением. В этом случае станок модернизируют: устанавливают прибор активного контроля и элементы автоматического управления (рис. 9.23). Значительно повышается производительность и точность получения размеров, снижается себестоимость изделий, значительно улучшается культура производства.

Широкое применение бесцентрового шлифования привело к созданию автоматизированных систем контроля. Активный контроль в настоящее время практически осуществляется двумя основными способами: контроль деталей после обработки с выдачей команды на подналадку станка (подналадчики) и контроль деталей в процессе обработки с выдачей команды на прекращение обработки при достижении заранее установленного размера детали.

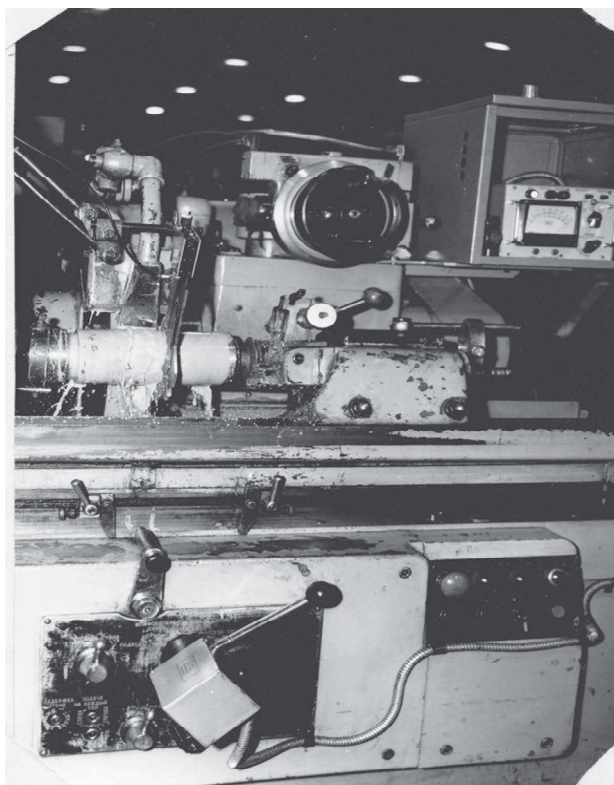


Рис. 9.23. Модернизированный круглошлифовальный станок с прибором активного контроля

Первый способ контроля используется главным образом при обработке деталей на проход, второй – при обработке деталей врезанием. Подналадчики применяют при обработке деталей врезанием в тех случаях, когда конструктивно нельзя контролировать заготовки в процессе обработки (загруженная зона обработки, малые габаритные размеры или сложная конфигурация обрабатываемой детали и т. п.).

Принципиальная схема подналадочной системы показана на рис. 9.24.

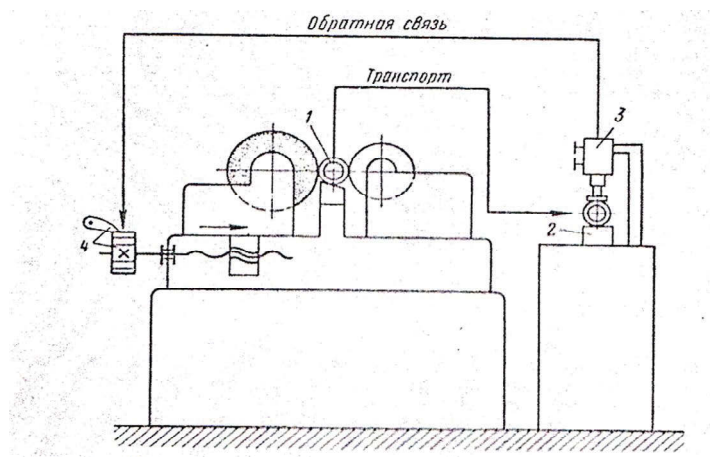


Рис. 9.24. Схема подналадочной системы

Обрабатываемая деталь 1 после выхода из зоны обработки при шлифовании на проход или выгрузке с помощью специального устройства при обработке врезанием подается на позицию 2.

По мере износа шлифовального круга размеры деталей постепенно увеличиваются и приближаются к верхней границе поля допуска. Когда размеры деталей достигают установленной границы подналадки, замыкается контакт преобразователя 3 и электрический сигнал поступает в электромагнит, управляющий работой храпового механизма 4. Храповое колесо и связанный с ним ходовой винт поворачиваются, и шлифовальная бабка перемещается (по стрелке) на величину подналадочного импульса. В случае обработки врезанием на величину импульса смещается упор, ограничивающий ход шлифовальной бабки. Размеры деталей уменьшаются, и цикл подналадки начинается снова.

С точки зрения точности и принципа действия подналадчики можно классифицировать следующим образом: подналадка по одной детали; по повторным импульсам; по положению режущей поверхности шлифовального круга; по одному или двум настроечным (предельным) размерам; по положению центра группирования случайных погрешностей (по среднему арифметическому, по медиане).

На рис. 9.25 показан график изменения размера при подналадке по одной детали и по одному настроечному размеру при сквозном бесцентровом шлифовании.

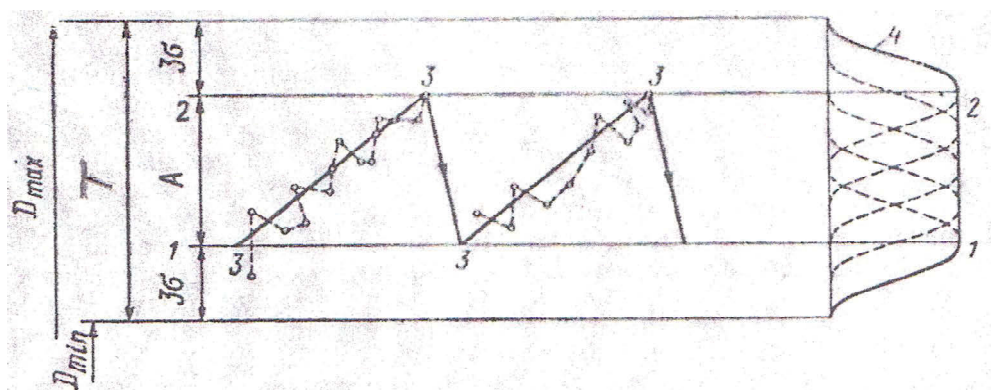


Рис. 9.25. График изменения размера при подналадке по одной детали и по одному настроечному размеру



Для получения размеров детали в пределах поля допуска  $T$  начальная наладка станка производится таким образом, чтобы линия 1–1 отстояла от нижней границы поля допуска не менее чем на  $3\sigma$  ( $\sigma$  – средняя квадратичная погрешность срабатывания), а линия 2–2, характеризующая настройку команды на подналадку, была расположена не менее чем на  $3\sigma$  ниже верхней границы поля допуска.

Величину случайных погрешностей определяют теоретически при разработке подналадочной системы, а затем уточняют при испытаниях. На основании полученных данных корректируют положение начальной наладки станка и настройки команды на подналадку. Смещение усредненных значений размеров деталей характеризуется линией 3–3. Кривая 4 – суммарное распределение погрешностей размеров.

Процесс наладки осуществляется следующим образом. По мере износа инструмента и тепловых деформаций технологической системы центр группирования размеров обрабатываемых деталей перемещается по линии 3–3, приближаясь к линии 2–2. При переходе размера какой-либо детали за линию настройки преобразователь срабатывает и возникает подналадочный импульс, в результате которого исполнительный орган (шлифовальная бабка) станка перемещается на величину  $A$ . Центр группирования размеров смещается вниз по линии 3–3 (по стрелке) на эту же величину, затем перемещается по направлению к линии настройки снова до появления детали с размером, при котором датчик срабатывает снова. В современных бесцентрово-шлифовальных автоматах минимальная величина подналадочного импульса составляет 1–2 мкм.

Важное значение для высокоточной работы станка с подналадчиком имеет его расположение относительно зоны обработки. Наиболее удобно крепить измерительную позицию на специальном базирующем устройстве 8 (рис. 9.26). Деталь 1, пройдя процесс измерения, попадает на лоток 2, а затем в поддон или на транспортер автоматической линии. Представленная на рис. 9.26 измерительно-управляющая станция разработана на кафедре «Технология ма-

шиностроения» Уральского федерального университета им. Б. Н. Ельцина и состоит из двух преобразователей 5 (у второго преобразователя изображены измерительный наконечник и хвостовик 11). Между преобразователями, закрепленными винтами 6, находится призма 7. Для микрометрической (тонкой) настройки преобразователей имеются резьбовые втулки 3 и 10, которые контрятся после настройки гайками 4 и 9. Функциональная схема этой измерительно-управляющей системы представлена на рис. 9.27.

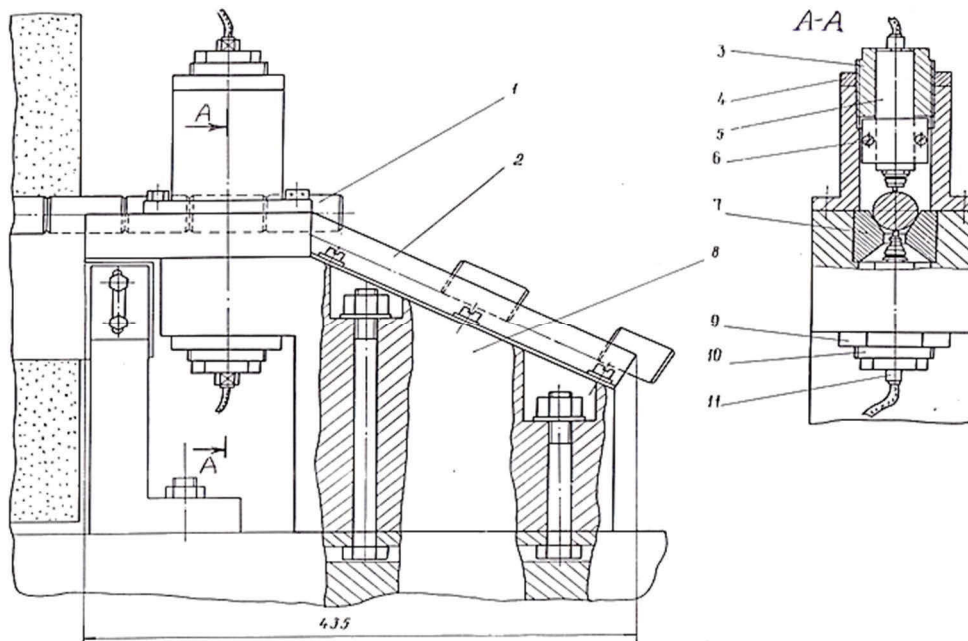


Рис. 9.26. Измерительно-управляющая станция

Деталь 1 измеряется диаметрально двумя датчиками 2. Для настройки на пороговые значения установлен резистор настройки 3. Для визуального наблюдения за изменением размера обрабатываемой детали в отсчетно-командный блок вмонтирован показывающий прибор 4.

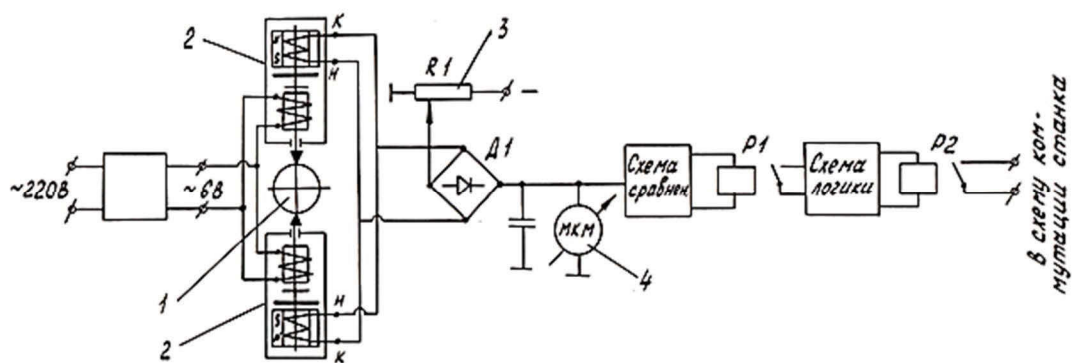


Рис. 9.27. Функциональная схема измерительно-управляющей системы

Специфика шлифовальной обработки заключается в том, что на обрабатываемые детали действует небольшая сила, перемещающая их после обработки. Это обстоятельство учитывается при выборе и проектировании измерительной оснастки, которая не должна препятствовать перемещению деталей. Последнее означает, что контактное усилие измерительных наконечников и сила трения детали при прохождении ее по измерительной позиции должны быть минимальными [15]. Наилучшие результаты в этом случае дает виброконтактный принцип измерения [16], которому присущи свойства контактного и бесконтактного методов измерения [9]. Измерительно-управляющие приборы виброконтактного принципа уже продолжительное время работают как на отечественных станках типа 3М184, так и на зарубежных, например модель САСЛ-125 фирмы «Микроза» (Германия). Система активного контроля для бесцентрово-шлифовальных станков виброконтактного принципа измерения типа ЛАК-9-УПИ [9] демонстрировалась во Всероссийском выставочном центре в г. Москве и была награждена серебряной медалью. Вся измерительная оснастка (рис. 9.28) установлена за зоной обработки при выходе из нее деталей.

Стойка 1 с гофрированным чехлом установлена в основание 8, которое, в свою очередь, крепится к станине 9 станка. На стойке 1 закреплены два кронштейна 3 и 6, в которые монтируются виброконтактные преобразователи 2 и 7. Для точной настройки датчиков имеются микрометрические винты, позволяющие перемещать преобразователи по направляющим в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Детали 4 после обработки поступают на призму 5, находящуюся в зоне измерения. Поток деталей проходит под вибрирующим наконечником виброконтактного (виброэлектромагнитного) преобразователя. При данной оснастке установлены два датчика (патент № 66514), которые контролируют действительный размер деталей. Режущий инструмент является одним из основных элементов, определяющих работоспособность металлообрабатывающих станков и качество обработки деталей типа тел вращения.

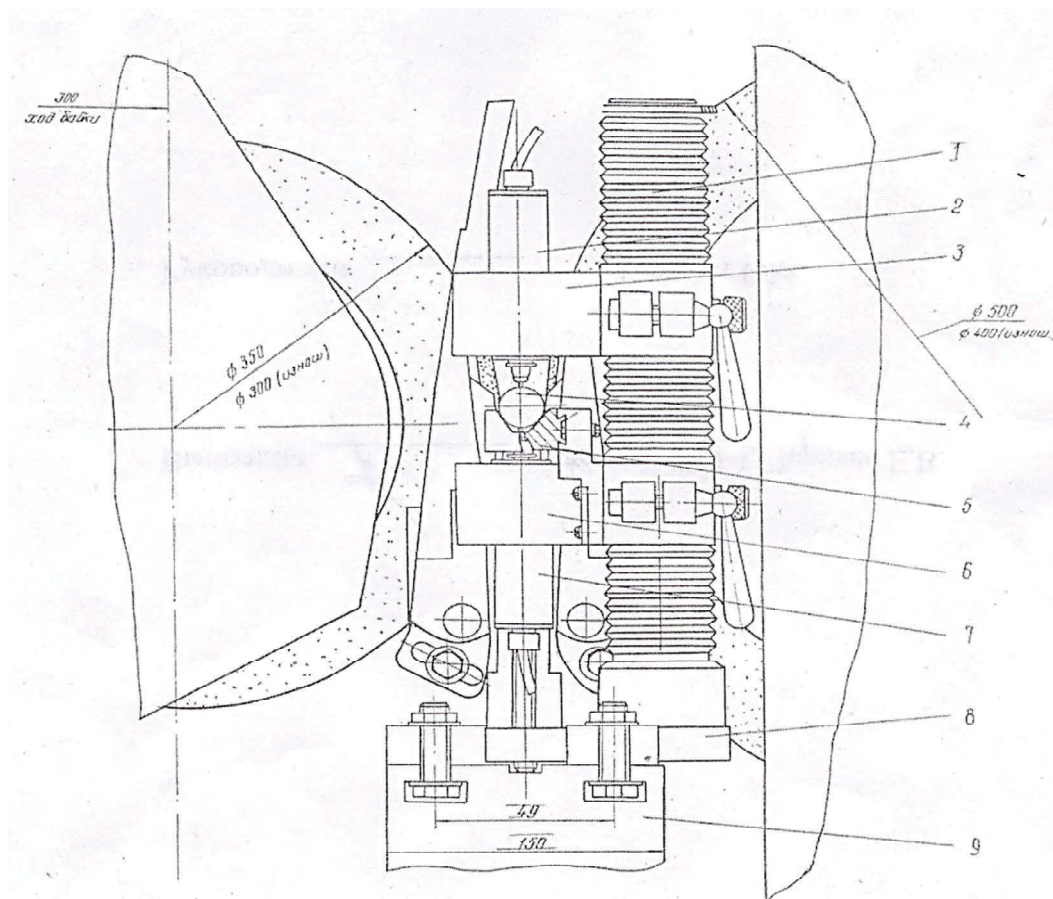


Рис. 9.28. Измерительная оснастка прибора автоматического активного контроля ЛАК-9-УПИ (патент № 66514) на стане бесцентрово-шлифовального станка

Основными видами нарушения работоспособности режущего инструмента являются изнашивание, выкрашивание, поломки или скалывание. Наиболее эффективен контроль состояния режущего инструмента в процессе резания.

Применяют различные методы такого контроля. Наиболее простым является метод непрерывного или через короткие промежутки времени (для каждой детали) измерения текущих параметров приводных электродвигателей. На них устанавливают измерительные преобразователи, которые регистрируют изменения силы тока нагрузки и передают информацию для обработки в мини-ЭВМ. Информативность метода определяется полнотой и точностью статистических данных о зависимости текущих параметров электродвигателей для различных режимов обработки всех используемых инструментов с учетом особенностей комплексных деталей для групп деталей, которые могут быть обработаны на конкретном станке.

Для контроля состояния инструмента используется акустический метод и группа методов на основе косвенного измерения силы резания посредством измерения деформаций под действием сил резания (тензометрические датчики) и ускорений. При косвенном измерении используется особенность процесса резания, характеризуемая тем, что, например, при чистовом обтачивании с  $S < 0,1$  мм/об разброс значений силы резания составляет примерно 10 % и с увеличением  $S$  быстро уменьшается. Поэтому имеется возможность выявлять износ, выкрашивание инструмента, отклонение размера из-за отжима инструмента, т. е. факторы, увеличивающие силу резания. Для измерения силы резания наиболее эффективно использование активных пьезометрических датчиков. Такие датчики можно устанавливать между подшипниками

винта привода подачи, в шпиндельном узле или на валу привода подачи.

Контроль состояния режущего инструмента может осуществляться по свойствам сходящей в процессе резания стружки, например по ее температуре посредством фотодиодов, работающих в области инфракрасного излучения.

Износ инструмента после окончания (или в перерывах) обработки можно контролировать оптическими датчиками с использованием световодов, обеспечивающих подведение луча света в зону резания от источника и к приемнику отраженного света (рис. 9.29). Точность измерения  $\pm 0,01$  мм в диапазоне  $0,1 \dots 0,8$  мм.

Судить об износе режущего инструмента можно по абсолютному значению постоянной составляющей ЭДС резания. При многоинструментной обработке по относительной ЭДС резания можно определить смещение верхней скоростной

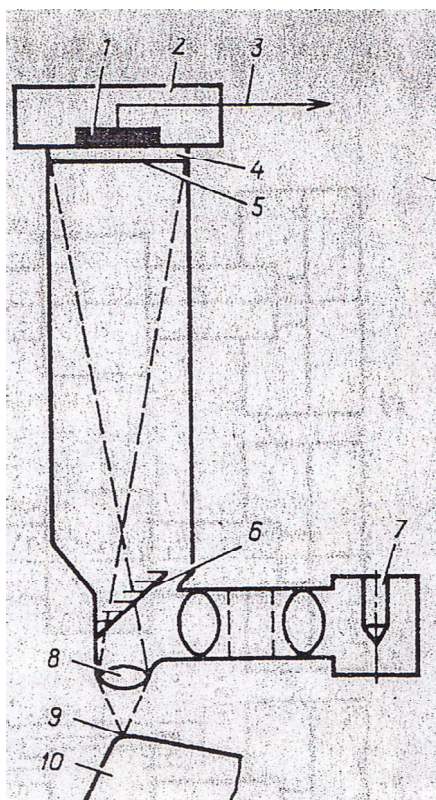


Рис. 9.29. Оптоэлектронный датчик износа режущего инструмента:

1 – катод; 2 – фотоусилитель; 3 – выход; 4 – прорезь; 5 – увеличенное изображение ленточки износа; 6 – полупрозрачное зеркало; 7 – источник света; 8 – объектив; 9 – ленточка износа; 10 – режущий инструмент



границы наростообразования. В качестве диагностического сигнала состояния инструмента можно использовать также значение электрического сопротивления скользящего контакта инструмент – деталь. Размеры деталей (заготовок) типа тел вращения (валов) контролируют, как правило, после их обработки. Для этого существуют универсальные измерительные инструменты и калибры.

Вместе с тем в настоящее время широко распространяются активные (управляющие) средства контроля. Используются автоматизированные и автоматические измерительные модули (ИМ) с датчиками касания и отклонения (рис. 9.30), которые в процессе обработки следят за изменением выполняемых размеров и по достижении настроенного размера выдают команды на прекращение обработки или перевода технологического процесса на другой режим обработки. Для измерения геометрических размеров и параметров шероховатости поверхности обрабатываемых заготовок служат также бесконтактные методы контроля с применением лазерной техники.

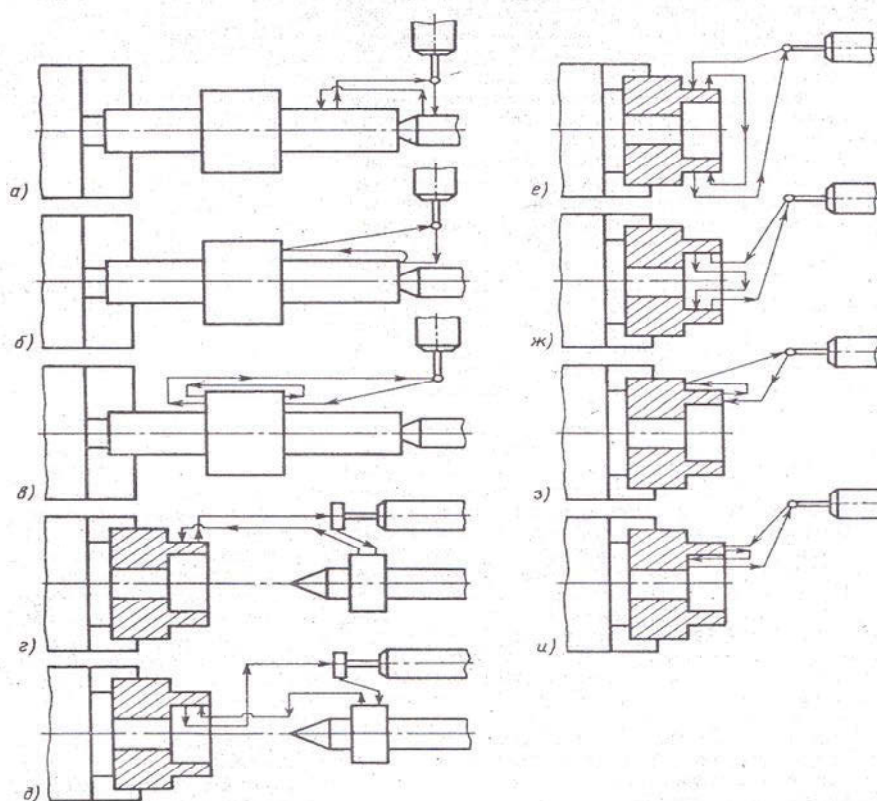


Рис. 9.30. Применение ИМ на токарном участке с ЧПУ для измерения:

*а* – наружного диаметра детали с контролем по эталону; *б* – длины обработанной поверхности; *в* – длины ступеней; *г*, *д* – с одной стороны соответственно наружного и внутреннего диаметров детали в патроне с контролем по эталону; *е*, *ж* – с двух сторон соответственно наружного и внутреннего диаметров детали; *з*, *и* – длины обработанной поверхности

Применение лазерного луча основано на зависимости между интенсивностью прямого и отраженного излучения и параметрами шероховатости. При этом принимается во внимание вид операции обработки и коэффициент поглощения материала заготовки.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие стали и заготовки применяют для изготовления валов?
2. Для чего и как производят правку и обдирку прутков?
3. Как производят резку заготовок (проката)?
4. Назовите основные виды центровых гнезд. Каким инструментом их изготавливают?
5. Назовите виды обработки вала на фрезерно-центровальном станке.
6. Перечислите методы точения конических и фасонных поверхностей на токарных станках.
7. Как обрабатывают эксцентричные и коленчатые валы?
8. Перечислите методы обработки шпоночных канавок на валах.
9. Назовите инструменты для нарезания наружной резьбы на валах.
10. Какие инструменты применяют для фрезерования наружных резьб на валах?
11. Перечислите методы отделочной обработки валов.
12. Изобразите схемы обработки вала.
13. При помощи каких инструментов контролируют вал?

## 10. ОБРАБОТКА ВТУЛОК (ПОЛЫХ ЦИЛИНДРОВ) И ДИСКОВ

### 10.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ. ЗАГОТОВКИ ВТУЛОК

Полые цилиндры (втулки) – детали со сквозными (реже с глухими) отверстиями в виде тел вращения простой либо сложной наружной или внутренней формы. Общая характеристика этих деталей – соотношение  $h = (0,5...2,5)D$ , где  $D$  – внешний наибольший диаметр цилиндра;  $h$  – высота детали.

Эти детали подразделяют на четыре типа: простой формы; сложные с фасонной наружной и внутренней поверхностями; тонкостенные; мелкие фасонные. Представители простой формы втулок – цилиндры, барабаны, стаканы, пустотелые поршни, гильзы; сложной – ступицы колёс, чашки сателлитов. Тонкостенные детали – втулки, вкладыши подшипников; мелкие фасонные – угольники, тройники, штуцеры. К группе крупных деталей К относятся детали с  $D > 400$  мм и массой  $G > 30$  кг, к группе средних С – детали с  $D = 150...400$  мм и массой  $G = 2...30$  кг, к группе небольших Н – детали, у которых  $D = 70...150$  мм и масса  $G = 0,7...2,0$  кг; к группе мелких М – детали с  $D < 70$  мм и массой  $G < 0,7$  кг.

Материалы для изготовления деталей типа втулок также весьма различны: стали углеродистые и легированные, чугуны различных марок, бронза, пластмассы, металлокерамика.

Посадочные поверхности втулок обычно имеют 9...11-й, реже – 6...7-й квалитет точности и 4...7-й класс шероховатости поверхности. Несопрягаемые обрабатываемые поверхности часто делают по 14-му квалитету точности с шероховатостью поверхности по 3-му и 4-му классам. В отдельных случаях втулки могут иметь более высокую точность и более высокий класс шероховатости поверхности. Так, гильзы цилиндров двигателей имеют точность отверстий в пределах 5...7-го квалитета и шероховатость поверхности 9...10-го класса ( $Ra0,32...Ra0,08$ ).



Заготовками для втулок служат штамповки, прокат, трубы, отливки, прессованная металлокерамика.

## 10.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ВТУЛОК

Важная технологическая задача при обработке втулок – достижение концентричности наружных поверхностей относительно отверстия и перпендикулярности торцов оси отверстия. Возможны три схемы базирования и обработки втулок (рис. 10.1): обработка наружных и внутренних поверхностей вращения и торцов за один установ (рис. 10.1, *а*); обработка за два установа (*А* и *Б*). При первом установе (первой операции) обрабатывают внутреннюю поверхность и торец; при втором установе (второй операции) – наружную поверхность и второй торец (рис. 10.1, *б*); обработка за два установа. При первом установе обрабатывают наружную поверхность и торец, при втором установе – внутреннюю поверхность и второй торец (рис. 10.1, *в*).

Первая схема обработки (обработка втулки за один установ) возможна при точении сравнительно мелких втулок из прутка или трубы с отрезкой детали в конце операции. Данная схема обработки обеспечивает хорошую концентричность наружных и внутренних поверхностей втулки и перпендикулярность торцов её оси, поэтому она предпочтительнее других схем. Однако эта схема обработки неприменима для штучных втулок (заготовок) большого диаметра.

При второй схеме обработки вначале окончательно обрабатывают отверстие (а часто и один торец) втулки. Затем обработку наружных поверхностей и подрезку второго торца втулки производят на оправке, используя обработанное отверстие в качестве базы. Такая схема обработки обеспечивает концентричность наружных и внутренних поверхностей, а также перпендикулярность торцов оси отверстия.

Третья схема обработки втулок менее распространена, так как даёт большие погрешности во взаимном расположении внутренних и наружных поверхностей, не обеспечивает выдерживания перпендикулярности торцов оси отверстия. При третьей схеме обработки нельзя применять такие способы обработки отверстий, как протягивание и развёртывание, при которых режущий инстру-

мент направляется по обрабатываемому отверстию; такая схема обработки не обеспечивает высокую concentricность поверхностей. При данной схеме обработки втулок отверстие можно обрабатывать растачиванием и шлифованием.

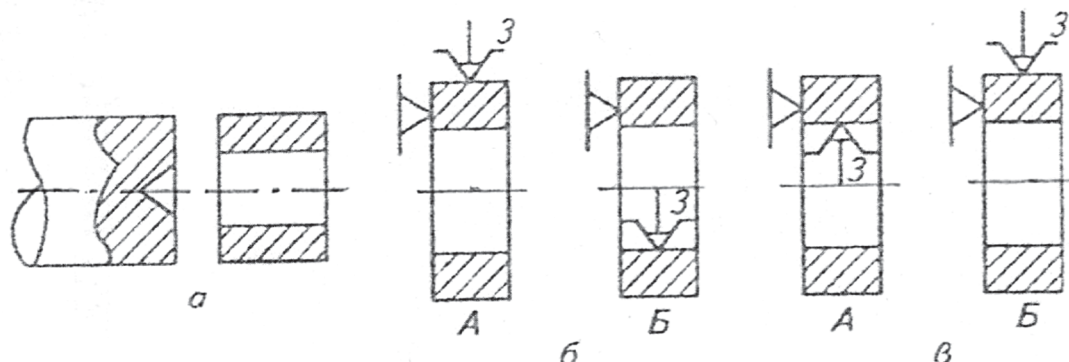


Рис. 10.1. Схемы базирования и обработки втулок:  
*а* – за один установ; *б* – за два установка с первоначальной обработкой отверстия; *в* – за два установка с первоначальной обработкой наружной поверхности

Для точения втулок применяют те же станки, что и для точения валов: универсальные токарные, револьверные, одно- и многошпиндельные автоматы и полуавтоматы, токарные многорезцовые полуавтоматы. Кроме того, для обработки отверстий крупных втулок используют вертикально-расточные станки.

### 10.3. ОБРАБОТКА ДИСКОВ

К деталям класса дисков относятся тела вращения с concentричными наружными и внутренними поверхностями, размеры которых в диаметральном направлении значительно превышают их длину в осевом направлении ( $l < 0,5D$ ).

Детали класса дисков подразделяют на четыре типа: простые (шкивы, маховики, колёса, катки, тормозные барабаны, диски и фланцы, корпуса муфт, диски турбин); цилиндрические и конические шестерни; кольца подшипников; поршневые кольца двигателей.

В качестве материалов для изготовления дисков применяют серый и ковкий чугун, стали углеродистые и легированные, пластмассы. Требования к точности и шероховатости поверхности деталей класса дисков примерно те же, что и для деталей типа втулок.

Заготовками для дисков обычно служат отливки, реже – штамповки. Обработку дисков, как правило, проводят по второй схеме (см. рис. 10.1, б).

Для обработки дисков применяют более крупные модели металлорежущих станков, чем для обработки втулок. Это универсально-токарные, револьверные и карусельные станки, многошпиндельные горизонтальные и вертикальные полуавтоматы.

Некоторые детали типа дисков – шкивы, венцы, маховики и т. п. – вращаются в машине со значительной частотой. Во избежание вредного воздействия динамических сил на узлы машины вращающиеся диски должны быть уравновешены, для этого в технологический процесс изготовления таких дисков вводят операцию балансировки. Размеры деталей типа дисков в осевом направлении невелики, и, следовательно, нет необходимости учитывать моменты от сил инерции в плоскостях, проходящих через ось детали, поэтому достаточна статическая балансировка.

Статическая балансировка дисков заключается в совмещении центра тя-

жести детали с её осью вращения. На рис. 10.2, а показан диск с дисбалансом: его центр тяжести не совпадает с осью вращения. Для балансировки используют балансировочные станки с опорами в виде ножей (рис. 10.2, б), дисков (рис. 10.2, в) и весовым устройством (рис. 10.2, г).

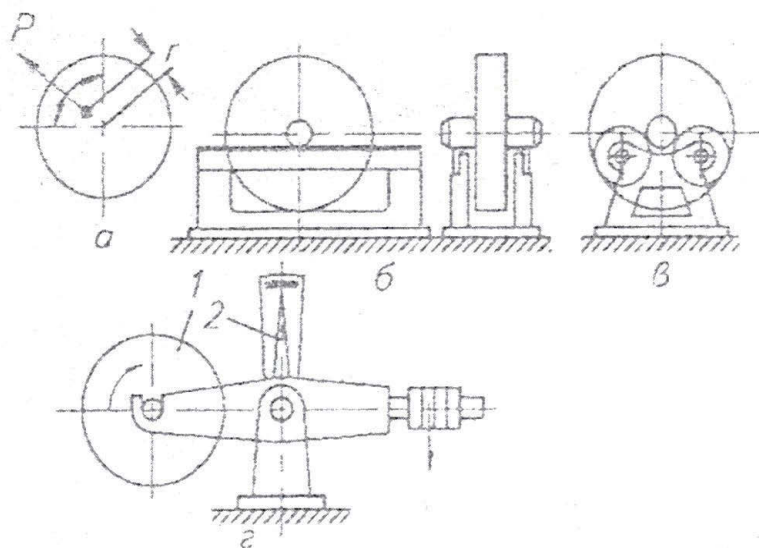


Рис. 10.2. Схемы статической балансировки диска:  
а – с дисбалансом; б – на ножках;  
в – на дисках; г – с помощью весов

Балансировку на ножках (дисках) производят следующим образом. Диск насаживают на оправку и ставят на ножи (см. рис. 10.2, б) или диски

(см. рис. 10.2, в). После остановки детали в определенном положении на ней мелом проводят вертикальную линию от центра вниз. Затем деталь поворачивают на некоторый угол, и если после нескольких качаний меловая метка займет прежнее вертикальное положение – значит, есть дисбаланс и центр тяжести детали расположен по этой метке ниже оси вращения. Если при любом положении детали на ножах (дисках) она не стремится повернуться – значит, деталь статически отбалансирована.

Балансировки неуравновешенной детали достигают размещением на детали выше оси вращения дополнительного груза, устраняющего дисбаланс, или удалением (обычно сверлением) металла в детали по меловой метке ниже оси вращения. Размещение дополнительных грузов или засверливание детали производят согласно указаниям технологии.

Балансировка дисков на ножах (дисках) требует много времени, так как производится методом попыток. Правда, заранее предусмотренная возможность добавления грузов к предварительно определённым местам несколько ускоряет процесс балансировки. Например, в обойме центробежной муфты шнекового вакуумного пресса СМК-325 [2] предусмотрены отверстия, в которые при необходимости вставляют и закрепляют специальные грузики.

Более производителен способ статической балансировки на станке с весами (см. рис. 10.2, г). В этом случае диск 1 с оправкой ставят на коромысло весов и, поворачивая вручную деталь на коромысле, определяют по стрелке прибора 2 место и величину дисбаланса.

#### 10.4. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Отверстия в деталях машин бывают цилиндрические, ступенчатые, конические, фасонные.

Под ступенчатыми подразумевают отверстия разных диаметров, расположенные на одной оси последовательно одно за другим. Отверстия могут быть открытыми с двух сторон или с одной стороны; последние называются глухими.

В деталях машин чаще всего встречаются отверстия цилиндрические и конические. Достигнуть необходимой точности обработки отверстий труднее, чем наружных поверхностей тел вращения. Обрабатывать отверстия можно снятием и без снятия стружки. Снимать стружку можно лезвийным и абразивным инструментом или абразивным порошком.

Лезвийным инструментом можно вести сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, протягивание.

Абразивным инструментом осуществляют шлифование, хонингование, суперфиниширование, притирку (с использованием абразивного порошка).

Обработка отверстий без снятия стружки производится калиброванием при помощи выглаживающих прошивок и шаров, а также раскатыванием.

В листовом материале эффективным методом формирования отверстий является пробивание их в штампах.

#### 10.4.1. Обработка отверстий лезвийным инструментом

Образование отверстий в сплошном металле с точностью 11...12-го квалитетов и шероховатостью поверхности  $Rz\ 80\ldots160\ \mu\text{м}$  достигается **сверлением**. Дальнейшая обработка полученного отверстия в зависимости от требуемой точности и класса шероховатости поверхности производится зенкерованием, развертыванием, растачиванием, протягиванием.

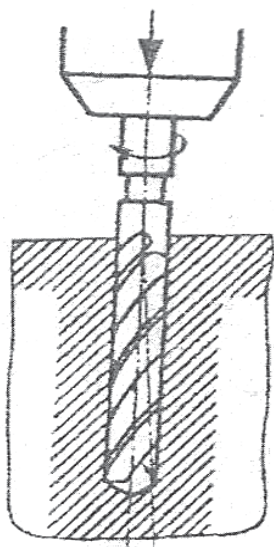


Рис. 10.3. Увод вращающегося сверла

При сверлении отверстий на сверлильных станках вращается инструмент (сверло); при сверлении на токарных станках (а также на станках для глубокого сверления) обычно вращается обрабатываемая деталь.

При сверлении отверстий с вращением инструмента увод сверла от нужного направления оси отверстия больше (рис. 10.3), чем при сверлении с вращением детали. Для уменьшения увода сверла при обработке на свер-

лильных станках применяют кондукторы с направляющими (кондукторными) втулками (рис. 10.4, а).

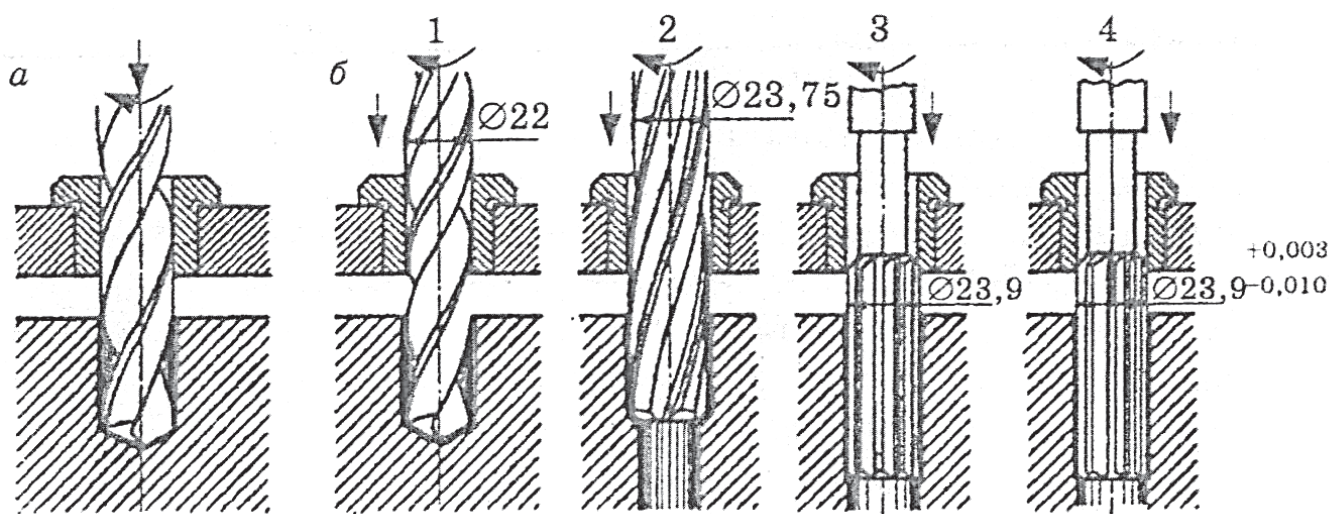


Рис. 10.4. Обработка отверстий в сплошном материале: а – сверление отверстия 11...12-го квалитетов точности; б – обработка отверстий до 7-го квалитета точности; 1 – сверление; 2 – зенкерование; 3 – черновое развертывание; 4 – чистовое развертывание

Отверстия диаметром больше 30 мм в сплошном материале обычно сверлят двумя сверлами (первое – меньшего и второе – большего диаметра в целях уменьшения осевой силы и предотвращения значительного увода сверла от намеченного направления).

При изготовлении отверстий диаметром больше 30 мм по 8...9-му квалитетам точности с шероховатостью поверхности 2,5...1 мкм по критерию  $Ra$  после сверления применяют зенкер и развертку, а для диаметров менее 30 мм после сверла – только развертку. При изготовлении отверстий диаметром 15...20 мм по 7...8-му квалитетам точности и с шероховатостью 1,25...0,32 мкм по  $Ra$  после сверла применяют зенкер и развертку; для диаметров больше 20 мм после сверла и зенкера применяют одну или две развертки (черновую и чистовую) (рис. 10.4, б).

На рис. 10.4, б показаны схемы обработки отверстий на вертикально-сверлильном станке с указанием размеров, которые определяют припуск под

каждый инструмент. Каждый инструмент должен быть направлен втулкой кондуктора, в противном случае направление и точность будут существенно отличаться от заданных.

При сверлении отверстий под резьбу диаметр  $D$  сверла принимается больше внутреннего диаметра резьбы  $d$  на величину  $a = 0,3 \dots 0,4$  глубины резьбы (рис. 10.5).

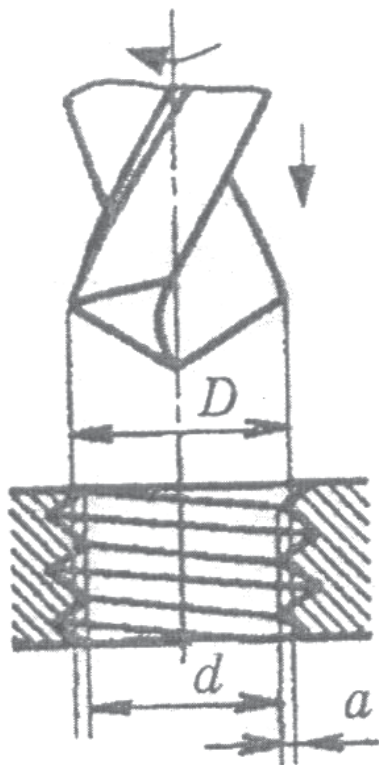


Рис. 10.5. Сверление отверстий под резьбу

Сверла разделяются на нормальные и специальные для глубокого сверления.

К **нормальным** относятся сверла спиральные, перовые и центровочные.

Для **глубокого сверления** применяются сверла особой конструкции. Конструкция одного из таких сверл показана на рис. 10.6, а. Сверло состоит из штанги 2 длиной до 1,5...2,0 м (в зависимости от длины отверстия), имеющей две канавки 3 для отвода стружки и две канавки для трубок 4, подводящих охлаждение с большим давлением для удаления стружки. На конце штанги закрепляется клином 6 с винтом 5 специ-

альная режущая пластина 1 из быстрорежущей стали или оснащенная твердым сплавом; на ре-

жущих кромках пластины делаются канавки для разламывания и размельчения стружки; кроме того, эти канавки облегчают удаление стружки охлаждающей жидкостью.

Такие сверла применяются для отверстий диаметром от 30 мм и более.

Для изготовления глубоких отверстий относительно небольших диаметров – до 30 мм – применяют спиральные сверла с внутренним подводом охлаждения; однако обрабатывать таким спиральным сверлом глубокие отверстия трудно, так как приходится часто выводить сверло из отверстия для удаления



застрявшей стружки и, кроме того, оно недостаточно прочно и менее точно обеспечивает соблюдение направления отверстия. Вместо спиральных сверл лучше применять **пушечные сверла** (рис. 10.6, б), которые не имеют поперечной режущей кромки, что облегчает резание металла. Вершина сверла смещена, благодаря чему образуется конус, направляющий сверло.

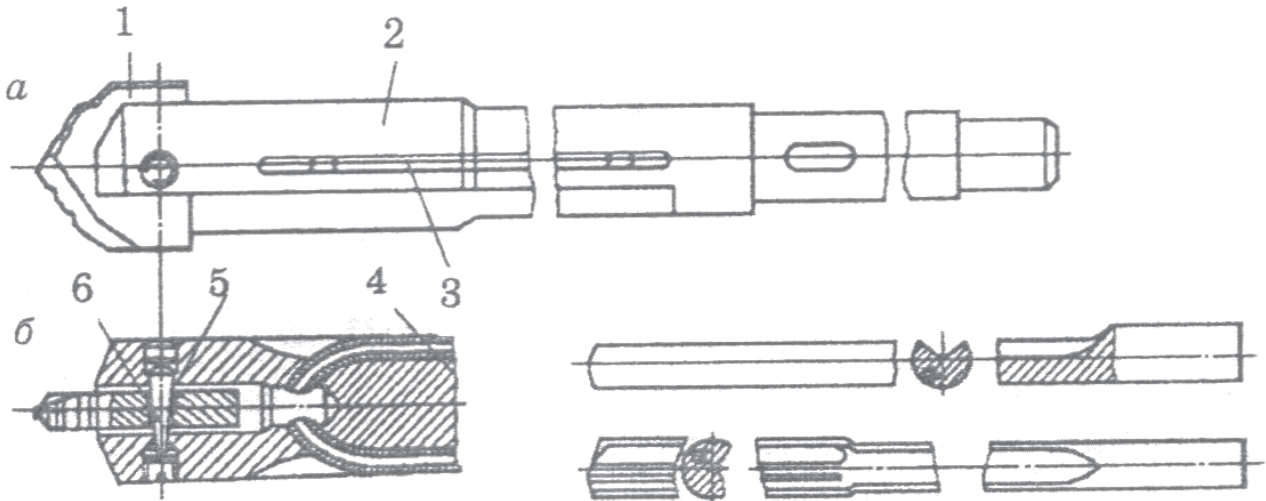


Рис. 10.6. Сверла для глубокого сверления: 1 – режущая пластина; 2 – штанга; 3 – канавка; 4 – трубки; 5 – винт; 6 – клин

Сверлению пушечным сверлом предшествует предварительное засверливание металла на некоторую глубину спиральным или перовым сверлом, что должно быть выполнено тщательно во избежание увода пушечного сверла в сторону. Получаемая при сверлении мелкая стружка легко удаляется охлаждающей жидкостью. Существенным недостатком пушечных сверл является их малая производительность. При сверлении глубоких отверстий диаметром 80...200 мм, длиной до 500 мм широкое применение находят кольцевые сверла. Они вырезают в сплошном металле лишь кольцевую поверхность, а остающуюся после такого сверления внутреннюю часть в форме цилиндра можно использовать для изготовления других деталей. Такие сверла поставляются с несколькими комплектами запасных быстрорежущих ножей. Эти ножи выпускаются взаимозаменяемыми в заточенном виде. Затупившиеся ножи сверловщик заменяет непосредственно на своем рабочем месте без снятия сверла со станка.



Кольцевые сверла можно применять на токарных, расточных, револьверных, радиально-сверлильных станках, имеющих обычную систему подачи охлаждающей жидкости.

При сверлении такими сверлами производительность труда повышается до 4 раз по сравнению со сверлением обычными сверлами для глубокого сверления. Шероховатость обработанной поверхности отверстия соответствует 160...40 мкм по критерию  $R_z$ . Такие сверла изготавливает завод «Фрезер» (г. Москва).

Отлитые или отштампованные отверстия обрабатываются вначале черновым зенкером, а затем в зависимости от требуемой точности и класса шероховатости – чистовым зенкером, разверткой, протяжкой и др.

Для отверстий диаметром больше 25 мм хорошо применять зенкеры не только с верхним (рис. 10.7, а), но и с нижним направлением (рис. 10.7, б).

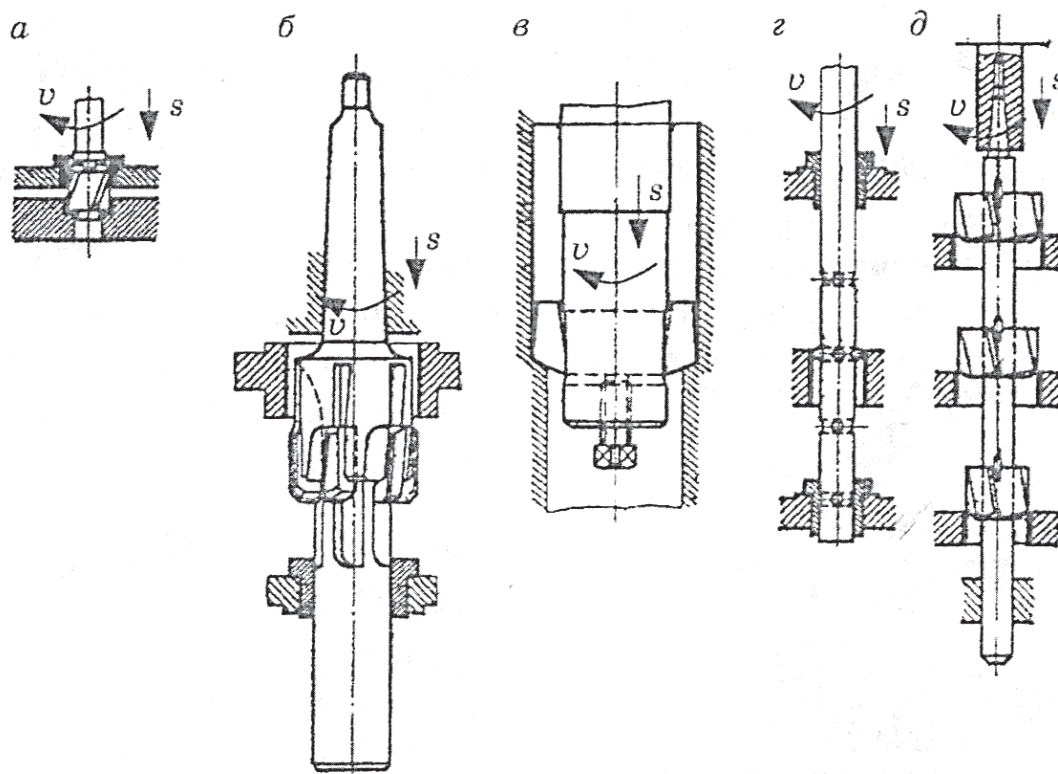


Рис. 10.7. Инструмент для обработки отверстий

Зенкеры диаметром более 30 мм часто изготавливают со вставными ножами, имеющими рифленую поверхность для закрепления. После переточек ножи можно переставлять, что увеличивает срок их работы.

Иногда взамен зенкеров применяют двусторонние расточные пластины в оправках (см. рис. 10.7, *в*), они дешевле в изготовлении, но менее производительны, чем зенкеры. Оправка с резцами (см. рис. 10.7, *г*) применяется для обработки отверстий больших диаметров обычно в мелко- и среднесерийном производстве на вертикально-, но чаще на горизонтально-расточных станках.

При одновременной обработке нескольких отверстий диаметром более 30 мм, находящихся на одной оси, в серийном и крупносерийном производстве применяются оправки с насадными зенкерами (см. рис. 10.7, *д*).

Фаски в отверстиях снимаются зенковками (рис. 10.8, *а*). Цилиндрические углубления и торцовые поверхности под го-

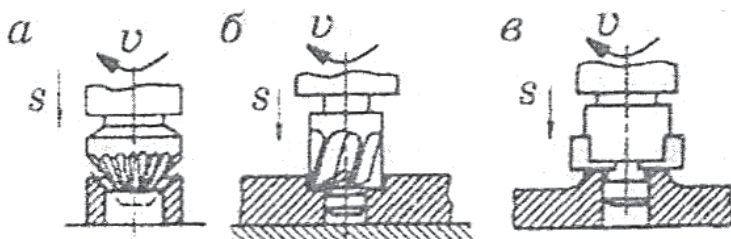


Рис. 10.8. Зенковка и цековка

ловки болтов и гаек выполняются на сверлильных станках цековками в виде насадных головок с четырьмя зубьями (рис. 10.8, *б*) или в виде специальных пластин (рис. 10.8, *в*) с направляющей цапфой, служащей для получения соосности с обработанными отверстиями.

В крупносерийном и массовом производстве широко применяются комбинированные зенкеры – цельные (рис. 10.9, *а*) и со вставными ножами (рис. 10.9, *б, в*), обрабатывающие одновременно отверстие, торец и фаску и т. п. Такие зенкеры имеют либо верхнюю (рис. 10.9, *б*), либо нижнюю направляющую (рис. 10.9, *в*).

Для растачивания отверстий от 35 до 260 мм применяются черновые двух- и четырехрезцовые блоки (рис. 10.10, *а, б*), снимающие каждой парой ножей припуск до 15 мм на диаметр

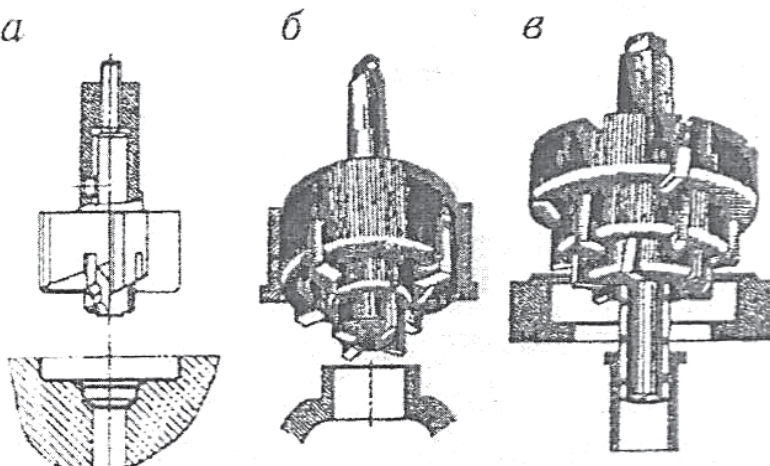


Рис. 10.9. Комбинированные зенкеры

и обрабатывающие ступенчатые отверстия (рис. 10.10, б) диаметрами  $D$  и  $D1$ . Для растачивания отверстий диаметром 120 мм и более могут быть применены также резцовые головки со вставными ножами (рис. 10.10, в).

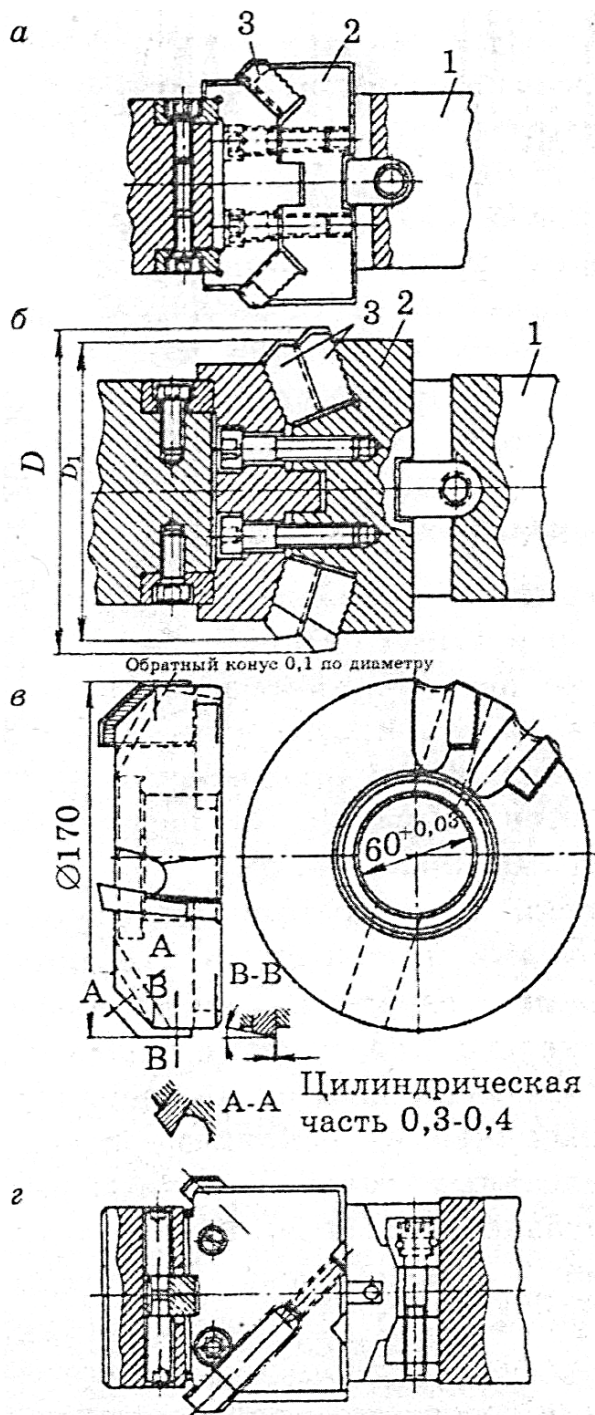


Рис. 10.10. Расточные блоки и резцовая головка:  
1 – корпус; 2 – расточная головка; 3 – резцы

Для чистового растачивания отверстий диаметром 25...300 мм применяются двухрезцовые блоки (рис. 10.10, г) и головки с микрометрической подачей резца, с точностью его установки до 0,02 мм. Для сверл, зенкеров и разверток все больше применяются пластинки из твердых сплавов.

**Развертки** разделяются на ручные и машинные, изготавливаются цельными и раздвижными.

Ручные развертки имеют длинные зубья и длинную коническую заточенную часть, называемую заборной. Машинные цельные развертки применяются для отверстий диаметром до 30 мм. Для отверстий диаметром более 30 мм в целях экономии режущего инструментального материала применяются насадные развертки. Развертки раздвижные применяются для диаметров 25...100 мм. Большое распространение имеют развертки со вставными ножами, применяемые для диаметров 35...150 мм.

При работе чистовыми развертками на токарных и револьверных станках применяются качающиеся оправки (рис. 10.11), которые компенсируют несопадение оси отверстия и направления развертки.

**Самоцентрирующие развертки**, называемые иногда «плавающими», представляют собой свободно вставленные в державку пластины (рис. 10.12), предназначенные для удаления очень тонкого слоя стружки.

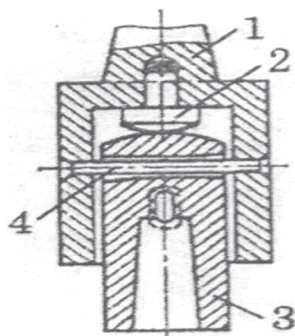


Рис. 10.11. Качающаяся оправка для чистовых разверток: 1 – хвостовик; 2 – вставка сферическая; 3 – втулка; 4 – винт

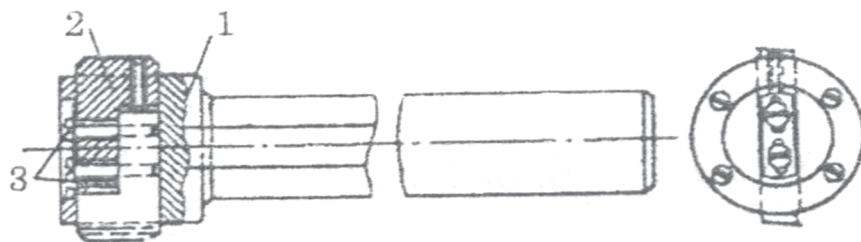


Рис. 10.12. Самоцентрирующая (плавающая) развертка: 1 – корпус; 2 – пластина режущая; 3 – винты фиксирующие

Вследствие того, что эти развертки направляются самим отверстием, они не могут выправлять кривизну и положение оси, но дают чистую поверхность и точный диаметр отверстия. Износ пластин компенсируется их регулировкой. Такие развертки можно применять для отверстий диаметром 25...500 мм.

В крупносерийном и массовом производстве применяются комбинированные инструменты: сверло-зенкер, сверло-развертка (рис. 10.13, а), сверло-зенкер-развертка (рис. 10.13, б) и др.

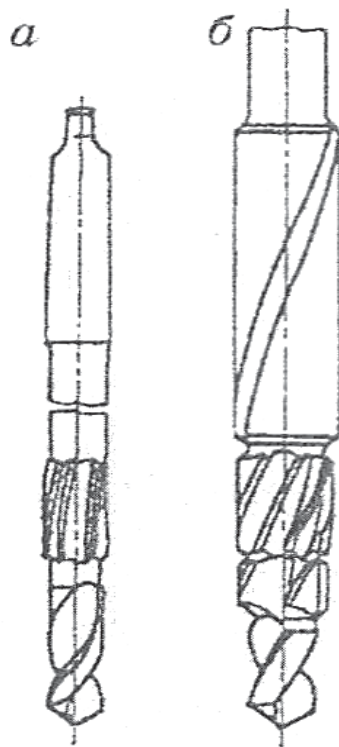


Рис. 10.13. Сверло-развертка (а) и сверло-зенкер-развертка (б)



Основное время для обработки отверстий сверлом, зенкером, разверткой, цековкой и подрезным ножом определяется по формуле, мин,

$$t_o = \frac{l_i}{n \cdot S}.$$

При сверлении, зенкеровании и развертывании длина хода инструмента складывается из длины обрабатываемого отверстия, длины врезания и перебега инструмента. Для этих видов работ формула основного времени может быть выражена следующим образом, мин:

$$t_o = \frac{(l_o + l_{вр} + l_n)}{n \cdot S} \cdot i,$$

где  $l_o$  – длина обрабатываемого отверстия, мм;  $l_{вр}$  – длина врезания, мм;  $l_n$  – длина перебега, мм (рис. 10.14, а).

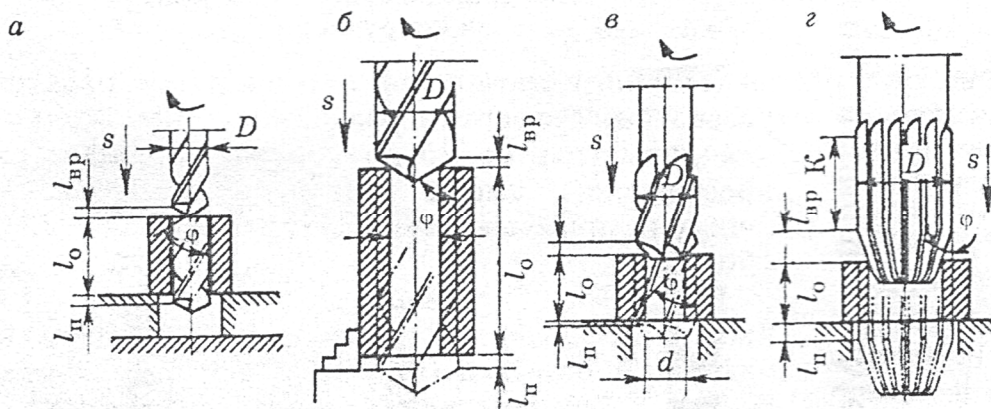


Рис. 10.14. Схемы для определения длины прохода инструментов при обработке отверстий

Длина врезания при сверлении определяется по формуле, мм,

$$l_{вр} = \frac{D - d}{2} \operatorname{ctg} \varphi + (1 \dots 3),$$

где  $D$  – диаметр сверла, мм;  $d$  – длина поперечной режущей кромки сверла, мм;  $\varphi$  – главный угол в плане сверла, град.

Длина врезания  $l_{вр}$  при рассверливании, зенкеровании и развертывании (рис. 10.14, б, в, г) определяется по формуле, мм,

$$l_{вр} = t \operatorname{ctg} \varphi + (1 \dots 3),$$

где  $t = \frac{D - d}{2}$  – глубина резания, мм;  $\varphi$  – главный угол инструмента в плане, град.

Длина перебега инструмента  $l_n$  при обработке на проход принимается равной 1...3 мм, при развертывании  $l_n = (0,2-0,5) K$  (см. рис. 10.14, *з*), где  $K$  – длина калибрующей части развертки, мм. При обработке глухих отверстий  $l_n = 0$ .

Для точных конических отверстий применяется комплект из конических зенкеров и разверток.

На рис. 10.15, *а* показан порядок обработки таких конических отверстий. При диаметрах больше 25 мм отверстие рекомендуется сверлить последовательно несколькими сверлами различного диаметра для образования ступенчатого отверстия, приближающегося к форме конического зенкера. После сверления 1 (рис. 10.15, *а*) поочередно применяются зенкер 2, черновая развертка 3 и чистовая развертка 4.

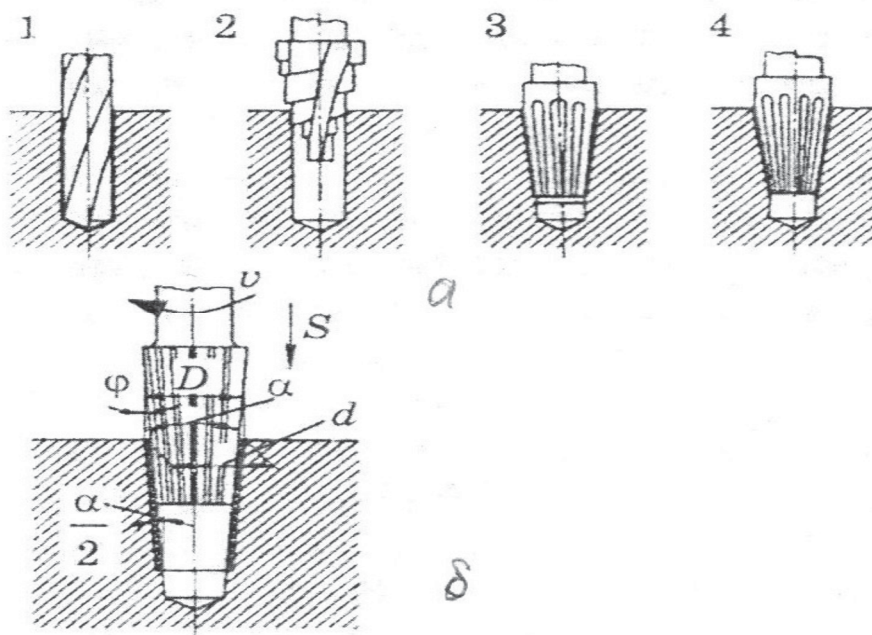


Рис. 10.15. Схема обработки конического отверстия

При зенкеровании и развертывании конических отверстий (рис. 10.15, *б*) основное время определяется по формуле, мин,

$$t_o = \frac{l + (0,5 \dots 2)}{n \cdot s}.$$

Для быстрой смены режущих инструментов на вертикально-сверлильном станке применяется специальный быстросменный патрон (рис. 10.16).

Радиально-сверлильные станки широко применяются в единичном и серийном производстве. Иногда они применяются и в крупносерийном производстве вместо вертикально-сверлильных станков, когда вследствие большого веса трудно перемещать заготовку, особенно вместе с кондуктором. Ориентировоч-

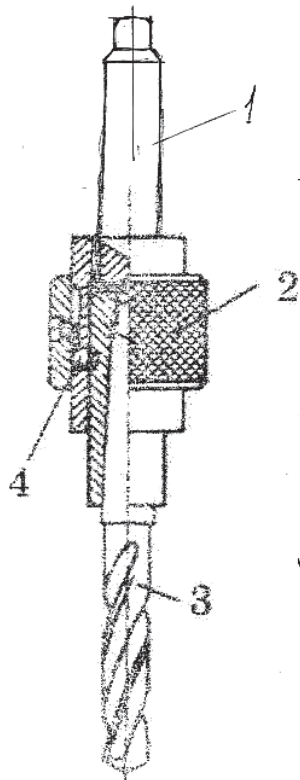


Рис. 10.16. Быстросменный патрон: 1 – хвостовик; 2 – втулка; 3 – сверло; 4 – шар

ный вес (масса) детали с кондуктором для вертикально-сверлильных станков не должен превышать 15...20 кг; для сверления отверстий в деталях с кондуктором больше этого веса нужно применять радиально-сверлильные станки.

При значительном весе детали с кондуктором применение легкоподвижных в двух направлениях универсальных столов делает возможным быстрое перемещение детали от отверстия к отверстию, что позволяет заменять дорогие и громоздкие радиально-сверлильные станки более дешевыми вертикально-сверлильными.

На вертикально-сверлильных станках можно производить сверление, зенкерование, развертывание и нарезание резьбы многошпиндельными головками.

Очень удобно применять **сверлильные многошпиндельные головки** на станках с поворотным столом. На рис. 10.17 показана схема обработки отверстия трехшпиндельной головкой на станке с поворотным столом, имеющим четыре патрона, из которых один служит для смены детали во время обработки в остальных трех; благодаря этому вспомогательное время затрачивается только на поворот стола на  $90^\circ$  и на подвод и отвод шпинделей.

В массовом и крупносерийном производстве (автомобиле- и тракторостроении и т. п.) применяются **специальные многошпиндельные** сверлильные головки для одновременной обработки большого количества отверстий, расположенных в разных плоскостях с разных сторон детали. Так, например, в авто-

матической линии для обработки головок цилиндров автомобильных и тракторных двигателей применяются 17, 22, 30 и более шпиндельных сверлильных головок.

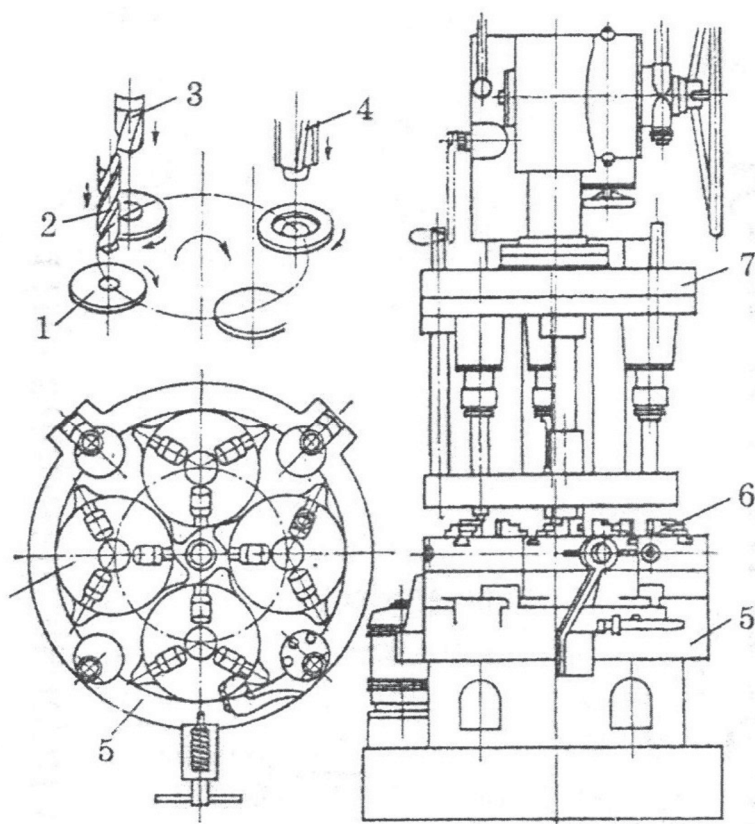


Рис. 10.17. Схема обработки отверстия трехшпindleйной головкой на сверлильном станке с поворотным столом: 1 – заготовка; 2 – сверло; 3 – сверло; 4 – зенкер; 5 – стол; 6 – приспособление; 7 – сверлильная головка

Специальные сверлильные станки, дорогие в изготовлении, часто заменяют специальными сменными головками, которые легко переставлять в зависимости от расположения отверстий в обрабатываемой детали. С помощью этих головок можно обрабатывать отверстия, находящиеся с разных сторон заготовки.

**Горизонтально-расточные станки** (рис. 10.18) служат для растачивания и сверления отверстий, а также для фрезерования плоских поверхностей. Обрабатываемая деталь устанавливается на столе станка. Осевая подача резца осуществляется путем перемещения шпинделя (рис. 10.19, а). Расстояние  $A$  между подшипниками может лишь незначительно превышать длину растачиваемой детали  $L$ .



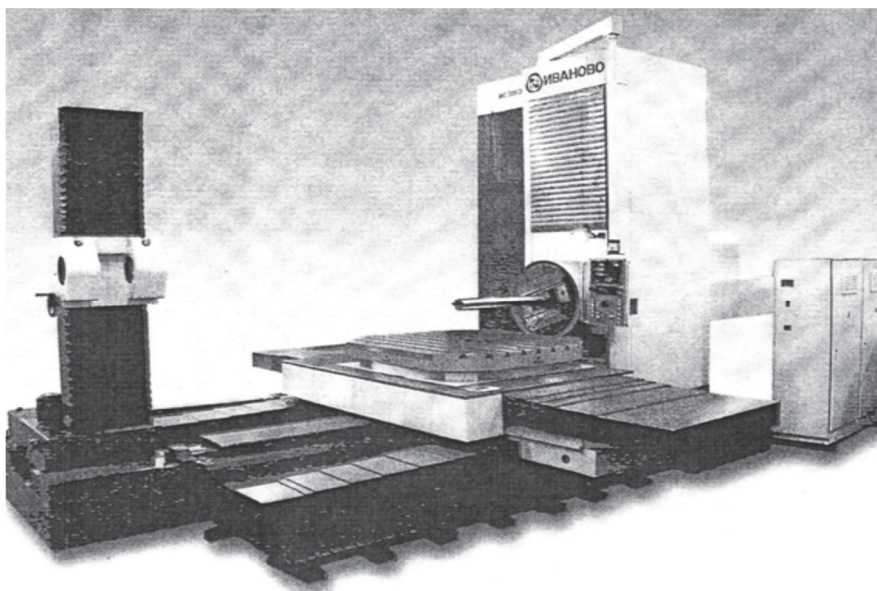


Рис. 10.18. Горизонтально-расточный станок ИС2А636 Ивановского завода тяжелого станкостроения

Подача при растачивании может осуществляться также приведением в движение стола *1* (рис 10.19, б), на котором расположена обрабатываемая деталь. В этом случае необходимо, чтобы  $A > 2L$ . При таком способе растачивания высокая точность может быть достигнута при условии отсутствия прогиба борштанги *2* (скалки, несущей инструмент); этот прогиб возникает при большом расстоянии между подшипниками, большом сечении стружки и недостаточной жесткости борштанги.

В практике обычно работают с перемещением шпинделя; при этом может достигаться 7-й квалитет точности.

Работа на горизонтально-расточных станках в средне- и крупносерийном производстве ведется обычно по кондукторам или шаблонам. В мелкосерийном и единичном производстве изготовление кондукторов не окупается, поэтому отверстия растачиваются по разметке или методом координат. Разметка не может обеспечить требуемой в современном машиностроении точности расстояний между осями, когда допуски иногда выражаются сотыми долями миллиметра. Метод координат дает возможность достигнуть такой точности.

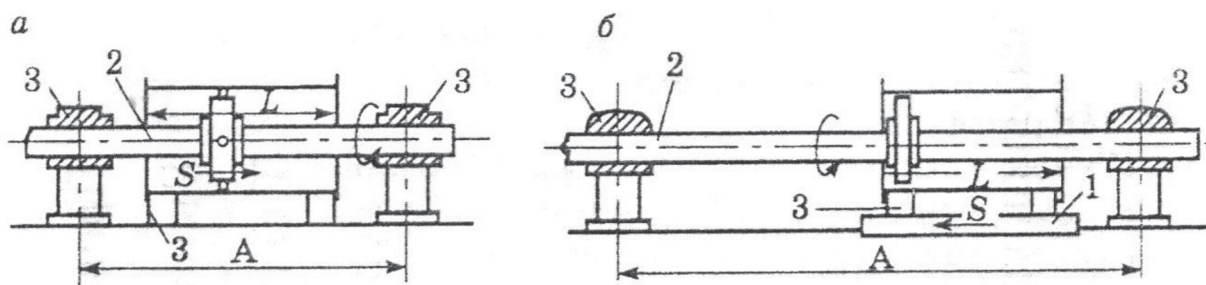


Рис. 10.19. Схемы растачивания отверстий на горизонтально-расточном станке:  
1 – стол станка; 2 – борштанга; 3 – опоры

Этот метод состоит в том, что положение осей отверстий определяется перемещением детали (реже инструмента) по осям координат на расстояния, измеряемые индикатором, мерными плитками и т. п. Метод координатного растачивания, а также метод растачивания по разметке непроизводительны и требуют высокой квалификации рабочего, в то время как при работе по кондуктору можно эффективно использовать рабочих менее высокой квалификации.

В средне- и крупносерийном производстве применяются специальные одно- и многошпиндельные расточные станки, причем они бывают с одно-, двух- и даже трехсторонним расположением шпинделей.

У таких станков подача обычно осуществляется гидравлическим способом, а стол станка часто вращается и служит для установки двух деталей; во время растачивания одной детали другая сменяется и закрепляется; таким образом, вспомогательное время доводится почти до нуля. На таких станках можно производить сверление, зенкерование, растачивание, развертывание и нарезание резьбы.

На рис. 10.20 показана одновременная обработка зенкерами четырех отверстий на специальном расточном станке с направлением инструментов втулками кондуктора.

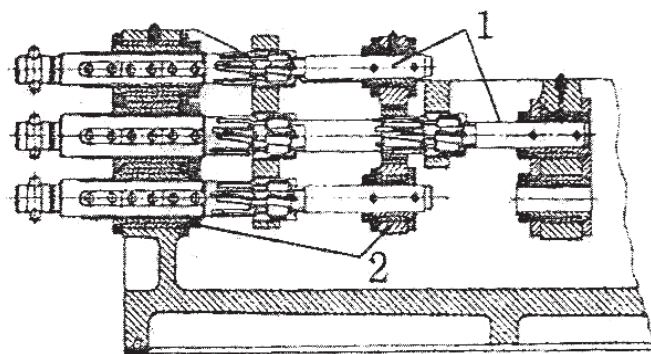


Рис. 10.20. Растачивание четырех отверстий: 1 – зенкеры; 2 – втулки

**Тонкое (алмазное) растачивание отверстий** часто применяется для чистовой обработки отверстий. Сущность этого способа заключается в том, что растачивание производится при большой скорости, малой глубине резания и малой подаче. Кроме алмазных резцов, для растачивания применяют резцы с пластинками твердых сплавов, которые также дают хорошие результаты в отношении шероховатости и точности обработанной поверхности. Конструкции станков для алмазного растачивания должны быть прочными и жесткими, причем вибраций шпинделя и станины не должно быть.

Скорость резания при алмазном растачивании составляет для чугуна 120...150, бронзы 300...400, баббита 400...1000, алюминиевых сплавов 500...1500 м/мин.

Глубина резания около 0,05...0,10 мм при подачах 0,01...0,08 мм/об. Точность обработки до 7-го квалитета с шероховатостью поверхности до 0,16...0,08 мкм по критерию  $Ra$ .

**Протягивание отверстий** имеет место в массовом, крупносерийном и среднесерийном производстве. Широко применяется протягивание отверстий цилиндрических, шлицевых и других форм.

Цилиндрические отверстия протягиваются после сверления или зенкерования. Для протягивания цилиндрических отверстий пользуются круглыми протяжками, которые обеспечивают обработку отверстий с точностью 8-го квалитета с шероховатостью поверхности до  $Ra0,32$ .

Протяжки квадратные, шпоночные, шлицевые применяются для обработки отверстий соответствующих форм.

Для выполнения калибровочных операций, а также для обработки глухих отверстий применяются **прошивки**. Прошивки проталкиваются через отверстие и в отличие от протяжек, работающих на растяжение, работают на продольный изгиб. Длина прошивок составляет 150...300 мм, что значительно короче протяжек.

Станки, применяемые для протягивания, делятся:

- 1) на механические и гидравлические;
- 2) на горизонтальные и вертикальные;
- 3) на одно- и многошпиндельные.

Двух- и трехпозиционные протяжные станки позволяют протягивать одновременно 2 – 3 детали.

Для одновременного протягивания двух отверстий в одной детали (например, в шатуне двигателя) применяются специальные горизонтальные или вертикальные двухшпиндельные протяжные станки.

Толкающие станки для прошивания применяются при выполнении калибровочных операций.

**Прошивание** сквозных и глухих отверстий обычно осуществляется на гидравлических, пневматических, механических и ручных прессах.

Установка детали для протягивания на протяжных станках

производится на жесткой или шаровой опоре. Установку детали на жесткой опоре (рис. 10.21, а) применяют, когда торец детали подрезан перпендикулярно оси отверстия. Если торец детали не подрезан (черная, необработанная поверхность) или подрезан неперпендикулярно оси отверстия, деталь устанавливают для протягивания на шаровой опоре (рис. 10.21, б).

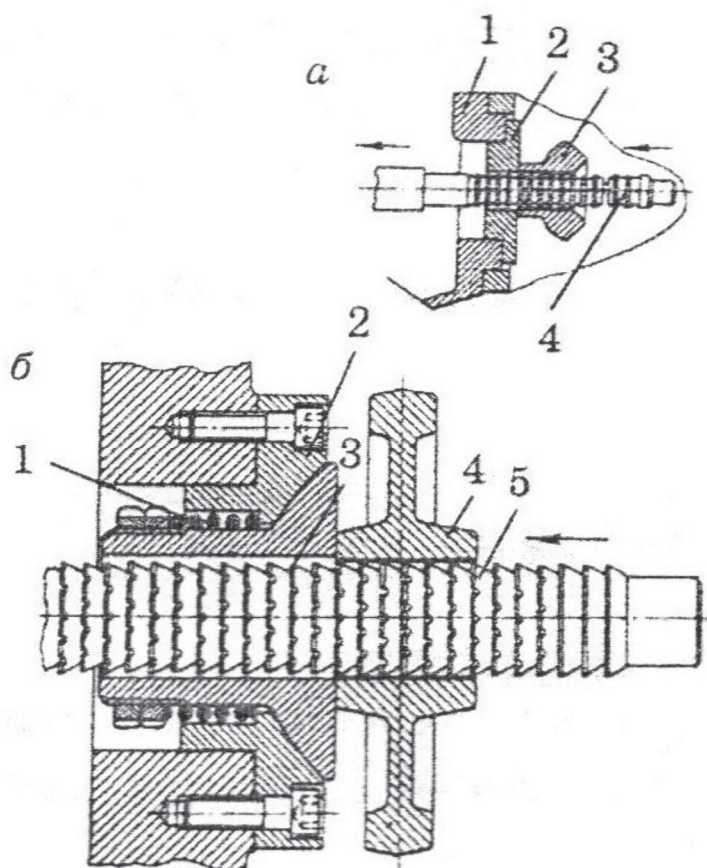


Рис. 10.21. Установка деталей при протягивании:  
а – на жесткой опоре: 1 – лобовая часть станка;  
2 – опорная шайба; 3 – обрабатываемая деталь;  
4 – протяжка; б – на шаровой опоре: 1 – пружина;  
2 – опорная шайба; 3 – шаровая опора; 4 – обрабатываемая деталь; 5 – протяжка

Применяя шаровую опору для деталей с одним подрезанным торцом, деталь опирают на другой необработанный торец; таким образом, зубья протяжки будут врезаться с обработанного торца и меньше тупиться.

Одновременное протягивание нескольких деталей повышает производительность станка. Если длина отверстия у детали меньше 2-3 шагов протяжки, следует протягивать отверстие одновременно у нескольких деталей.

Основное время для обработки протягиванием определяется по следующей формуле, мин:

$$t_o = \frac{(L + l)}{1000} \cdot \left( \frac{1}{v_p} + \frac{1}{v_{ox}} \right),$$

где  $L$  – длина рабочей части протяжки, мм;  $l$  – длина протягиваемой поверхности детали, мм;  $v_p$  – скорость резания (рабочего хода), м/мин;  $v_{ox}$  – скорость обратного хода, м/мин.

Скорость обратного хода принимается в 2-3 раза больше скорости рабочего хода. Протягиванием можно выполнять спиральные канавки в отверстиях, для чего во время протягивания протяжку поворачивают на определенный угол.

#### 10.4.2. Обработка отверстий абразивным инструментом

**Шлифование отверстий.** На внутришлифовальных станках отверстия шлифуются следующими способами:

- 1) при вращающейся и закрепленной в патроне детали;
- 2) при неподвижной детали – на станках с планетарным движением шпинделя;
- 3) при вращающейся незакрепленной детали – бесцентровым шлифованием.

Наиболее распространен первый способ, применяемый главным образом для шлифования отверстий в закаленных деталях (например, в цилиндрических и конических зубчатых колесах, втулках и т. п.). При этом способе обрабатываемую деталь закрепляют в самоцентрирующем патроне с регулируемыми кулач-

ками или в специальном приспособлении, установленном на шпинделе станка. Закрепленная таким образом деталь вращается, шлифовальный круг, вращающийся вокруг своей оси с большой частотой, осуществляет подачи и удаляет за каждый ход тонкий слой металла с поверхности отверстия. На рис. 10.22 изображено расположение шлифовального круга 2 и детали 1 при внутреннем шлифовании. Направления вращения круга и детали должны быть противоположны. Диаметр шлифовального круга обычно принимают равным  $0,8 \dots 0,9$  диаметра отверстия. Длина дуги соприкосновения круга с поверхностью отверстия при внутреннем шлифовании зависит от соотношения диаметра круга и диаметра отверстия. Поэтому работа производительнее при возможно большем диаметре круга, но следует иметь в виду, что при этом увеличивается радиальная сила, отжимающая шпиндель и снижающая точность обработки.

При шлифовании отверстий малых диаметров круг должен вращаться с очень большой частотой, чтобы получить необходимую скорость шлифования, но шпиндель станка для внутреннего шлифования не всегда может дать требуемую частоту враще-

ния. В данном случае шлифование отверстий малых диаметров приходится иногда вести при сравнительно небольших скоростях; так, например, при диаметре шлифовального круга до 8 мм средняя скорость его при шлифовании стали и чугуна составляет всего около 10 м/с, в то время как обычная скорость 30...35 м/с. При чистовом внутреннем шлифовании поперечная подача в зависимости от диаметра отверстия, требуемой точности и шероховатости колеб-

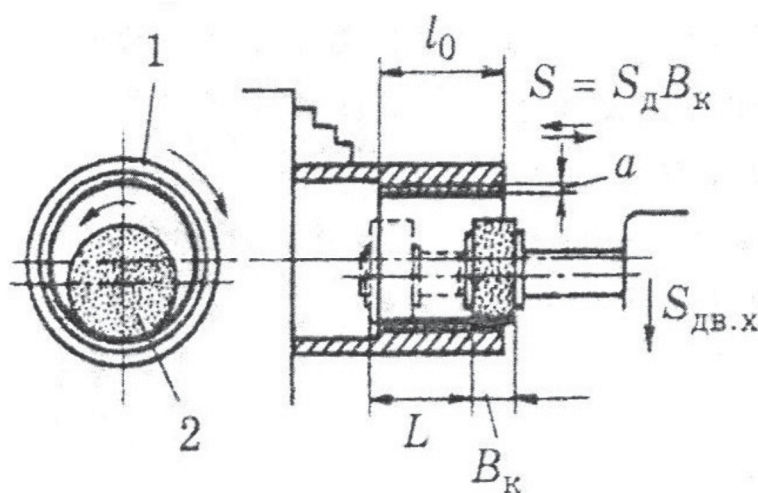


Рис. 10.22. Схема обработки отверстия на внутришлифовальном станке:

1 — обрабатываемая деталь;

2 — шлифовальный круг



лется в пределах 0,003...0,015 мм. Чем меньше диаметр отверстия и чем выше требуемая его точность, тем меньше должна быть величина подачи.

Продольная подача выражается в долях высоты круга и принимается равной при чистовом шлифовании 0,2...0,3, а при черновом шлифовании – 0,6...0,8 высоты круга.

Основное время в минутах для внутреннего шлифования с продольной подачей круга определяется по формуле, мин,

$$t_o = \frac{a}{n_{\text{дв.х}} \cdot s_{\text{дв.х}}} \cdot k ,$$

где  $a$  – припуск на сторону, мм;  $n_{\text{дв.х}}$  – число двойных ходов стола, мин<sup>-1</sup>;  $s_{\text{дв.х}}$  – поперечная подача за один двойной ход стола (глубина резания), мм;  $k$  – коэффициент, учитывающий точность шлифования.

Длина продольного хода стола  $L$  определяется по формулам, мм:

а) при шлифовании на проход

$$L = l_0 - (0,2 \div 0,4) \cdot B_{\text{к}};$$

б) при шлифовании в упор

$$L = l_0 - (0,4 \div 0,6) \cdot B_{\text{к}} ,$$

где  $l_0$  – длина шлифуемой поверхности, мм;  $B_{\text{к}}$  – высота шлифовального круга, мм.

Наиболее производительными являются внутришлифовальные станки-полуавтоматы. На этих станках все операции шлифования, за исключением установки и снятия детали и пуска станка, производятся автоматически. Принцип работы таких станков заключается в следующем. После закрепления детали в патроне и пуска станка шлифовальный круг подходит к детали с ускоренной подачей, меняя ее автоматически на подачу для чернового шлифования, и шлифует деталь до тех пор, пока не останется припуск на чистовое шлифование (0,04...0,06 мм на диаметр). После этого шлифовальный круг выходит из детали и автоматически правится алмазом перед чистовым шлифованием, которое производится при меньшей подаче и большей скорости вращения дета-

ли. После 8...10 ходов припуск снимается, получается нужный диаметр и станок останавливается.

При шлифовании на полуавтоматах сквозных отверстий деталей промер диаметра отверстия производится иногда автоматически, специальными калибрами, вводимыми с другой стороны детали после каждого рабочего хода круга. Эти калибры, рассчитанные для чернового и чистового шлифования, вставлены в шпиндель, вращающийся вместе с ними, и двигаются вперед и назад. Шлифование отверстия начерно производится до тех пор, пока черновой калибр не войдет в отверстие, затем круг отводится и правится алмазом, по окончании правки отверстие шлифуется начисто в размер чистового калибра. При достижении нужного размера чистовой калибр войдет в отверстие, и станок останавливается.

Для шлифования торца детали после шлифования в ней отверстия целесообразно пользоваться станками, имеющими, помимо круга 1 для шлифования отверстия, второй круг 2 для шлифования торца (рис. 10.23). Это обеспечивает соблюдение строгой перпендикулярности торцевой поверхности оси отверстия детали, так как шлифование выполняется за одну установку детали, что увеличивает производительность.

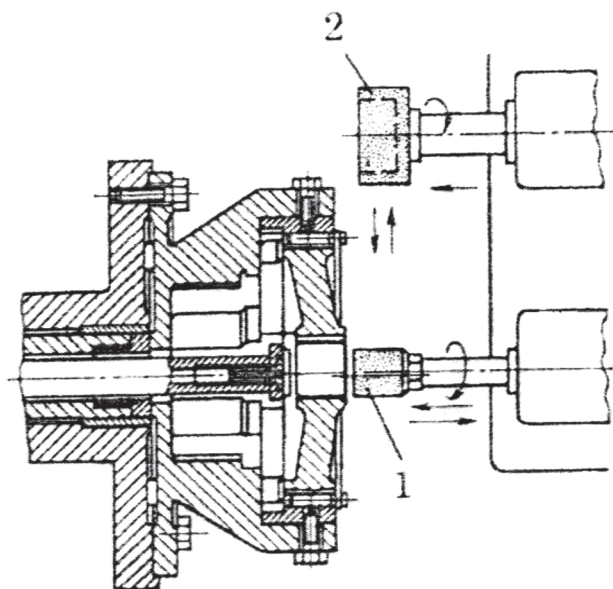


Рис. 10.23. Шлифование отверстия и торца



По второму способу, т. е. при неподвижной детали, отверстия шлифуют на горизонтальных или вертикальных станках с планетарным движением шпинделя. На рис. 10.24, *а* показана схема движения шпинделя при шлифовании отверстия в неподвижной детали: шпиндель со шлифовальным кругом *1* имеет четыре движения: I – вращение вокруг своей оси, II – планетарное движение по окружности внутренней поверхности детали *2*, III – возвратно-поступательное движение вдоль оси детали и IV – поперечное перемещение, т. е. поперечную подачу. На такого рода станках можно шлифовать и наружные

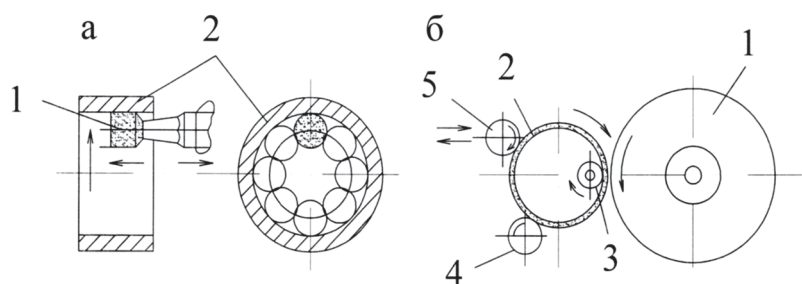


Рис. 10.24. Схемы шлифования отверстия:  
*а* – планетарного; *б* – бесцентрового

цилиндрические поверхности деталей, которые нельзя шлифовать на обыкновенных круглошлифовальных станках.

Вследствие низкой производительности эти станки применяются только для шлифования крупных

деталей, которые на других, более производительных станках шлифовать не представляется возможным.

Третий способ внутреннего шлифования – бесцентровое шлифование. При этом способе шлифуется отверстие во вращающейся незакрепленной детали по следующей схеме (рис. 10.24, *б*). Деталь, предварительно прошлифованная по наружному диаметру, направляется и поддерживается тремя роликами. Ролик *1* большого диаметра является ведущим: он вращает деталь *2* и в то же время удерживает ее от возможного вращения с большой скоростью от шлифовального круга *3*.

Верхний нажимной ролик *5* прижимает деталь к ведущему ролику *1* и нижнему поддерживающему ролику *4*. Деталь, зажата между тремя роликами, имеет скорость ведущего ролика *1*.

При смене деталей зажимной ролик 5 отходит влево и, освобождая деталь, позволяет вставить ручную или автоматически новую деталь. Точность обработки при бесцентровом шлифовании по диаметру можно получить 7-го и даже 6-го квалитетов, а точность на концентричность и параллельность осей внутреннего отверстия и наружной поверхности – до 0,003 мм. Этот способ можно применять для внутреннего шлифования деталей диаметром 10...200 мм со сквозными и глухими отверстиями, а также с коническими отверстиями. Можно также шлифовать отверстия в деталях, имеющих на наружной поверхности уступы и буртики. Этот способ широко применяется для шлифования колец подшипников качения. Измерение шлифовального отверстия при бесцентровом внутреннем шлифовании может производиться автоматически.

**Хонингование отверстий.** Сущность хонингования (хонинг-процесса) заключается в механической доводке предварительно развернутого, расшлифованного или расточенного отверстия специальной вращающейся головкой (хонном) с шестью (иногда и более) абразивными раздвижными брусками, имеющей, кроме того, возвратно-поступательное движение. Раздвижение абразивных брусков в радиальном направлении осуществляется механическим, гидравлическим или пневматическим устройством.

В результате хонингования получается гладкая и блестящая поверхность с шероховатостью до 0,08 мкм по  $R_a$  и с точностью до 6-го квалитета. Охлаждение производится обычно керосином, который способствует удалению абразивных зерен, остающихся в порах металла (особенно чугуна) и увеличивающих износ отверстия при эксплуатации детали.

Станки для хонингования изготавливаются одно- и многошпиндельные (до 6 шпинделей) с гидравлической подачей.

Хонингование имеет по сравнению с внутренним шлифованием следующие преимущества:

- 1) обеспечение цилиндричности поверхности отверстия вследствие отсутствия отжима инструмента, который имеет место при работе на внутришлифовальных станках;

2) отсутствие вибраций, что часто наблюдается у внутришлифовальных станков;

3) плавность хода хонинговальной головки, достигаемая благодаря гидравлической подаче.

Припуск на хонингование 0,05...0,01 мм может быть снят за 1 – 2 мин.

Хонинговальная головка вращается со скоростью 60...75 м/мин для чугуна и бронзы и 45...60 м/мин для стали; скорость возвратно-поступательного движения головки 12...15 м/мин. На рис. 10.25, *а* представлена конструкция хонинговальной головки с механическим раздвижением абразивных брусков.

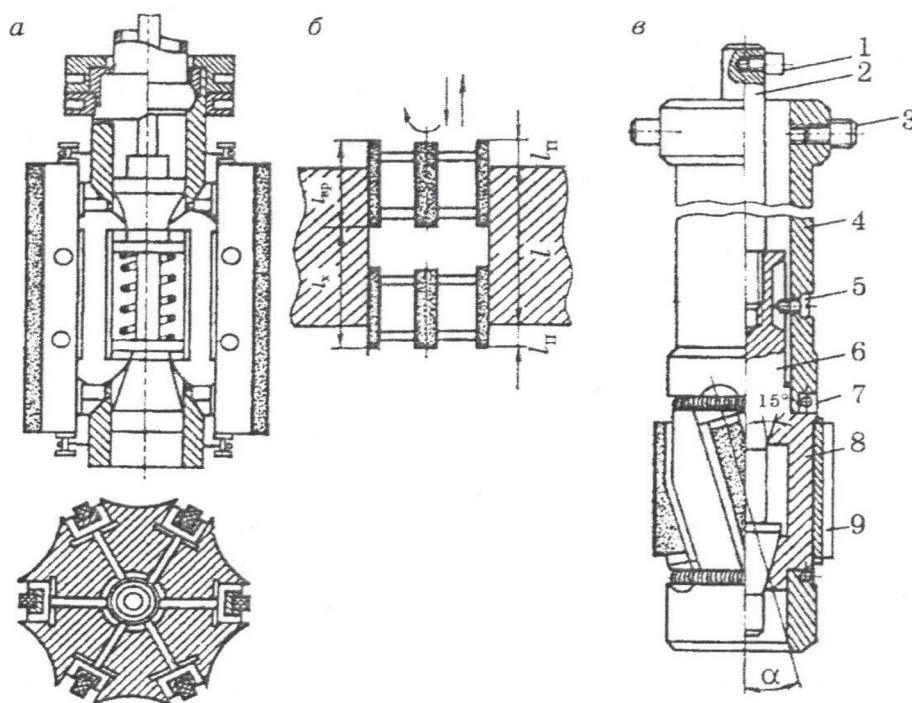


Рис. 10.25. Хонинговальная головка: *а* – конструкция; *б* – схема определения длины перемещения головки; *в* – головка для хонингования шлицевого отверстия: 1, 3 – шпильки; 2, 6 – штоки; 4 – корпус; 5 – шуруп; 7 – пружина; 8 – колодка; 9 – брусок

На рис. 10.25, *б* дана схема определения длины ее перемещения. Основное время для хонинг-процесса определяется по следующим формулам:

$$t_0 = \frac{a}{s_p \cdot n};$$

$$n = \frac{V_{\text{в.п}} \cdot 1000}{2 \cdot l_x};$$

$$l_x = l + 2 \cdot l_{\text{п}} - l_6,$$

где  $t_0$  — основное время, мин;  $a$  — припуск на сторону, мм;  $s_p$  — радиальная подача на один двойной ход хонинговальной головки, мм;  $n$  — число двойных ходов хонинговальной головки, мин<sup>-1</sup>;  $V_{\text{в.п}}$  — скорость возвратно-поступательного движения, м/мин ( $V_{\text{в.п}} = 12 \dots 15$  м/мин);  $l_x$  — ход хонинговальной головки, мм (рис. 10.25, б);  $l$  — длина обрабатываемого отверстия, мм;  $l_{\text{п}}$  — перебег головки, мм ( $l_{\text{п}} = 12 - 25$  мм);  $l_6$  — длина абразивного бруска, мм ( $l_6 = 75 \dots 100$  мм).

Новые конструкции хонинговальных головок со значительно большей поверхностью и большей твердостью абразивных брусков с применением увеличенных удельных давлений брусков на обрабатываемую поверхность позволяют снимать большие припуски и сокращают время обработки в 2 – 3 раза по сравнению с обычными конструкциями головок.

На рис. 10.25, в показана хонинговальная головка для обработки отверстий с прерывистыми поверхностями, например отверстие со шпоночной канавкой, или шлицевое отверстие. Особенностью этой головки является то, что абразивные бруски в ней размещены не параллельно ее оси, а под углом, равным  $15 \dots 30^\circ$ . Головка состоит из корпуса 4, в котором шток 2 ввернут в шток 6, соединенный с четырьмя колодками 8, несущими абразивные бруски 9. На штоке имеется два усеченных конуса с углом  $15^\circ$ . Для предохранения от выпадения из корпуса 4 колодок 8 служат две пружины 7. Хонинговальная головка закрепляется в шпинделе станка с помощью шпилек 1 и 3. Шуруп 5 препятствует штоку 6 провертываться. Расположение абразивных брусков под углом  $15 \dots 30^\circ$  обеспечивает постоянное перекрытие шпоночных пазов не менее чем двумя брусками одновременно.

Для изготовления абразивных хонинговальных брусков используют различные искусственные абразивные материалы: электрокорунд, карбид кремния (карборунд), эльбор (кубический нитрид бора) и др. Алмазные бруски дают не-

сколько лучшие результаты. Главное их достоинство – высокая стойкость, в десятки раз превышающая стойкость абразивных брусков.

Для изготовления алмазных брусков применяют зерна природных (естественных) и синтетических (искусственных) алмазов. Для хонинговальных брусков применяют преимущественно синтетические алмазы, обладающие высокой стабильностью свойств, работоспособностью и имеющие по сравнению с природными алмазами значительно меньшую стоимость.

**Притирка и калибрование отверстий.** Процесс притирки отверстий за-

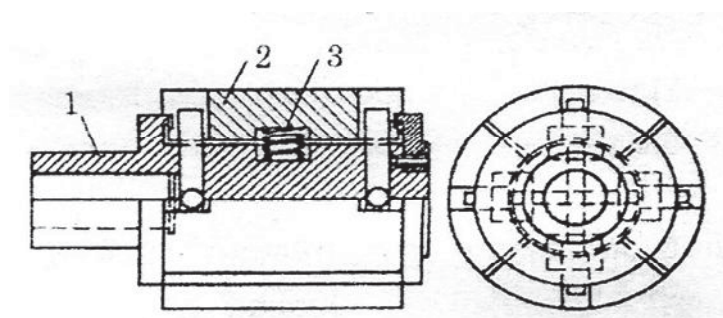


Рис. 10.26. Головка с чугунными притирами:  
1 – корпус; 2 – притир; 3 – пружина

ключается в удалении шероховатости с поверхности отверстия после его чистовой обработки чугунными или медными притирами (рис. 10.26), создающими при помощи пружин давление на стенки отверстия. Притирка производится вращением притира

попеременно в обоих направлениях на полоборота с одновременным перемещением его вдоль оси обрабатываемого отверстия. Во время работы притир поливается керосином.

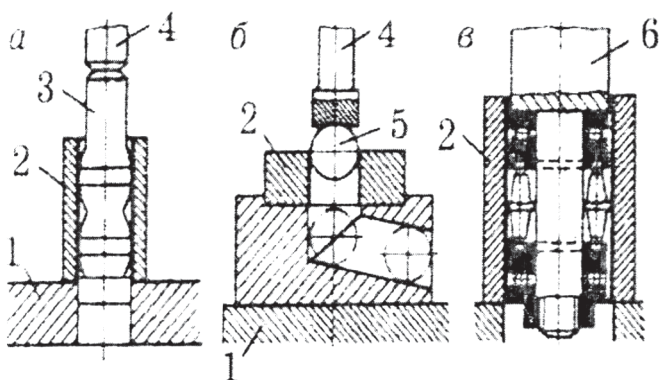


Рис. 10.27. Схемы обработки отверстий без снятия стружки: а – дорнование; б – калибрование шариком; в – раскатывание роликами; 1 – стол станка; 2 – деталь; 3 – прошивка-дорн; 4 – шток; 5 – шар; 6 – раскатка

Притиркой получают шероховатости до 0,08 мкм по  $Ra$ , но она практически слабо выправляет овальность и конусообразность отверстия.

Калибрование отверстий с использованием способов ППД (притирка–прошивка–дорнование) заключается в дорновании с помо-

щью прошивок-дорнов, шаров и различного рода шариковых и роликовых раскаток (рис. 10.27). Калибрование дорнами и шариками производится со скоростью 0,3...7 м/мин, а раскатывание осуществляется со скоростью главного движения до 200 м/мин и подачей 0,2...3 мм/об.

## 10.5. СХЕМЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВТУЛОК И ДИСКОВ

Обработка отверстий во втулках имеет свои особенности (трудности) по сравнению с обработкой вала такого же диаметра. К ним относятся:

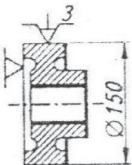
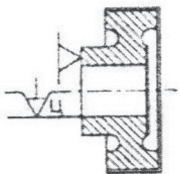
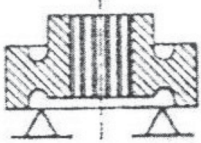
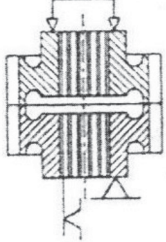
- большее число переходов (операций) и соответственно большая трудоемкость при обработке;
- трудности выдерживания соосности наружной и внутренней цилиндрических поверхностей и перпендикулярности торцов оси отверстия.

Поясним это на примере. Сравним обработку отверстия длиной 200 мм и диаметром 50 мм в сплошном материале с точностью 9-го качества с обработкой вала тех же размеров и с той же точностью. Требуемую точность при обработке вала обеспечат черновое и чистовое точения, в то время как обработка отверстия потребует сверления сверлом диаметром 30 мм, рассверливания сверлом диаметром 46 мм, зенкерования и развертывания.

Требуемой соосности наружных и внутренних поверхностей и перпендикулярности торцов оси отверстия при обработке втулок из штучных заготовок добиваются тем, что чистовую токарную обработку наружных поверхностей и торцов производят на оправках. Базой при этой обработке служит отверстие втулки, окончательно обработанное протягиванием, развертыванием и др.

Схема типового технологического процесса изготовления втулки (на примере зубчатого колеса диска) из штучной заготовки приведена в табл. 10.1.

Схема обработки втулки (зубчатого колеса, диска)

Эскиз установов	Содержание операции	Приспособление, инструмент
	Токарная (подрезать торцы и расточить отверстие с одной стороны)	Трехкулачковый патрон, резец подрезной, резец расточной
	Токарная (подрезать торец и точить по наружному диаметру)	Цанговый патрон, резец подрезной, резец проходной
	Протяжная (протянуть шлицевое отверстие)	Патрон, протяжка шлицевая
	Зубофрезерная (нарезать зубья)	Зажимное, червячная фреза

## 10.6. КОНТРОЛЬ ОТВЕРСТИЙ

В единичном и мелкосерийном производстве для контроля размеров используют универсальные измерительные инструменты: линейки, штангенциркули, жесткие нутромеры, микрометрические нутромеры, индикаторные нутромеры (рис. 10.28).

В серийном и массовом производстве цилиндрические отверстия контролируют гладкими предельными калибрами-пробками.

Внутреннюю резьбу контролируют предельными резьбовыми калибрами-пробками.

В мировой практике важнейшей предпосылкой повышения качества выполняемых размерных параметров является использование средств активного (управляющего) контроля.



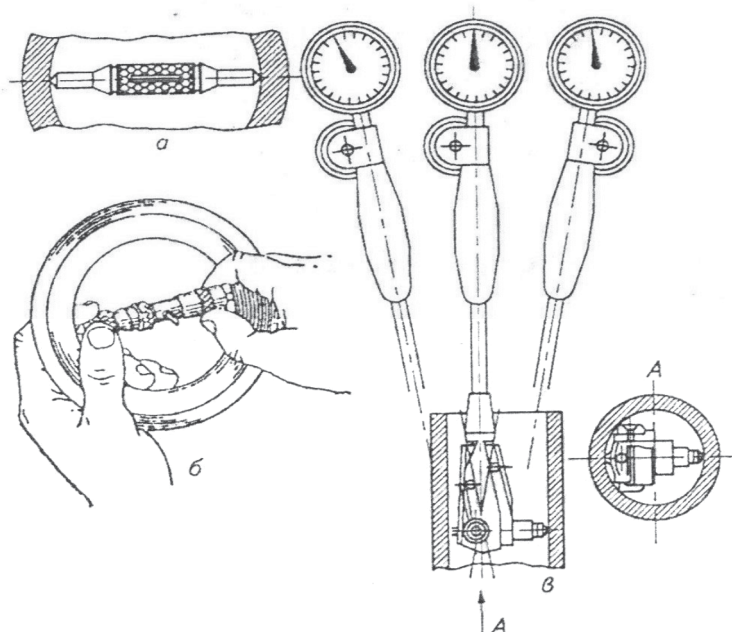


Рис. 10.28. Контроль отверстий: *а* – жестким нутромером; *б* – микрометрическим нутромером; *в* – индикаторным нутромером

Такие приборы предотвращают появление брака, позволяют автоматизировать технологические процессы выполнения отверстий высокой точности и уменьшают расходы на контроль.

Наиболее простыми и надежными устройствами для внутреннего шлифования являются жесткие калибры-пробки (рис. 10.29). Они размещаются в бабке изделия и вводятся в обрабатываемое отверстие со стороны, противоположной кругу. На станке соосно с обрабатываемым отверстием 3 находится шток 1, на конце которого закреплен ступенчатый калибр-пробка 2.

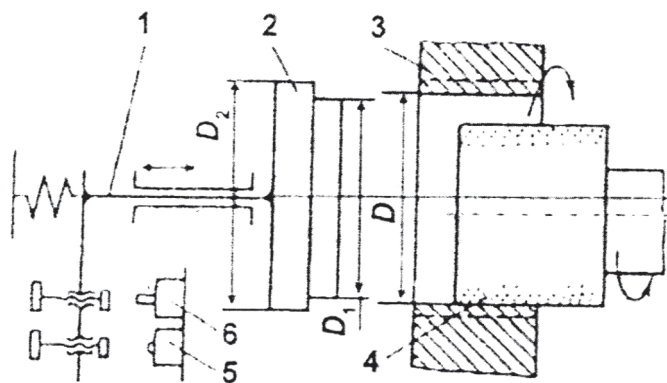


Рис. 10.29. Схема контроля калибром-пробкой

Периодически, при каждом ходе вправо шлифовального круга 4, шток с калибром под действием пружины подводится к отверстию диаметром  $D$ . Однако войти в это отверстие калибр сможет только тогда, когда размер отверстия станет больше диаметра первой



ступени калибра  $D > D_1$ . В этот момент регулируемый упор, связанный со штоком  $I$ , нажимает на конечный электроконтактный выключатель  $б$  (или замыкая бесконтактный выключатель), команда которого используется в схеме станка для изменения режима обработки. При дальнейшем шлифовании наступает момент, когда диаметр отверстия становится больше диаметра второй ступени калибра  $D > D_2$ , вторая ступень калибра получает возможность войти в отверстие и второй регулируемый упор нажимает на выключатель  $5$ , который подает команду на прекращение обработки. Наибольшее распространение при шлифовании отверстий имеют приборы с двухконтактными измерительными скобами (рис. 10.30).

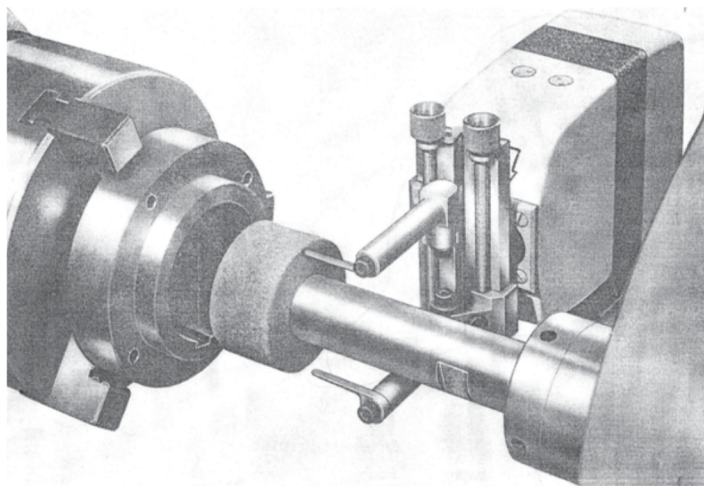


Рис. 10.30. Контроль обрабатываемого отверстия в процессе его шлифования

В этом случае измерительные наконечники размещаются за шлифовальным кругом, а скоба прибора устанавливается на шлифовальной бабке и перемещается вместе с абразивным кругом при его осцилляции вдоль оси обрабатываемого отверстия. Измерительные наконечники периодически входят в обрабатываемое отверстие вслед за шлифовальным кругом. Средняя скорость перемещения измерительных наконечников вдоль поверхности отверстия зависит от скорости перемещения шпинделя станка. Сигнал об изменении контролируемого параметра поступает в отсчетно-командный блок (рис. 10.31), который управляет всем технологическим процессом обработки.

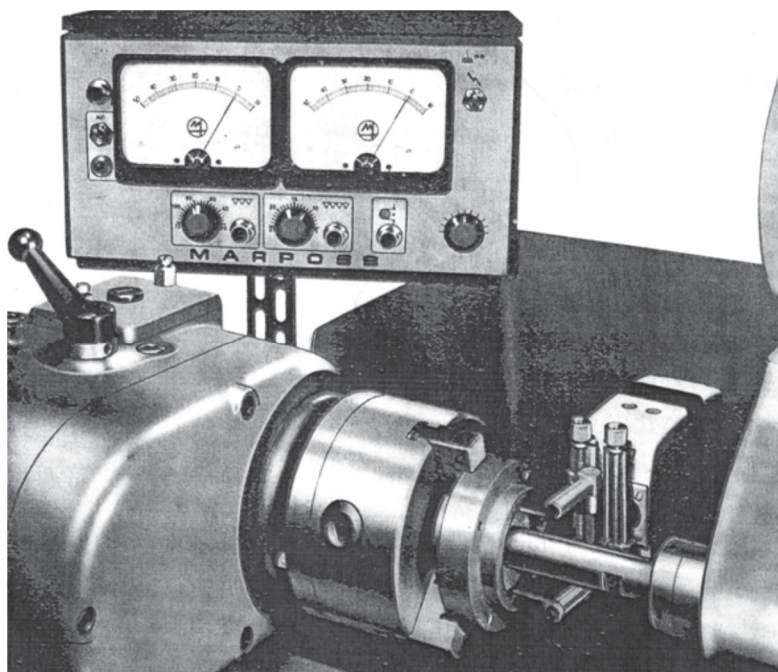


Рис. 10.31. Прибор «Univar» (Италия) для контроля внутренних диаметров

Наиболее перспективными системами контроля в зарубежной и отечественной метрологии являются измерительные модули, устанавливаемые на многоцелевых станках. Как показывает анализ материалов международных выставок 2010–2011 годов, на мировом рынке многоцелевые станки снабжаются различными измерительными системами фирм Renishaw (Англия), Marposs (Италия), Balluff (Германия). В нашей стране Санкт-Петербургским заводом «Измерон» выпускался индикатор контакта БВ-7272, предназначенный для измерения обрабатываемых деталей и определения положения или состояния инструмента на сверильно-фрезерно-расточных станках.

Системы контроля и подналадки технологических процессов, корректирующие качество обработки, – это необходимые элементы оборудования для гибких производственных модулей (ГПМ), гибких производственных участков (ГПУ), которые и являются актуальными для нашей промышленности.

Ограничимся рассмотрением использования приборов управляющего контроля виброконтakтного принципа измерения [17], разработанных в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б. Н. Ель-

цина на кафедре «Технология машиностроения». Соответствующие измерительные устройства представляют собой комплекс сложных механизмов (рис. 10.32), куда входят стыковочная инструментальная оправка 1, система передачи информации (бесконтактное передающее устройство) 2, корпус измерительного модуля 3, виброконтактная измерительная головка 4, отсчетно-командный блок 5.

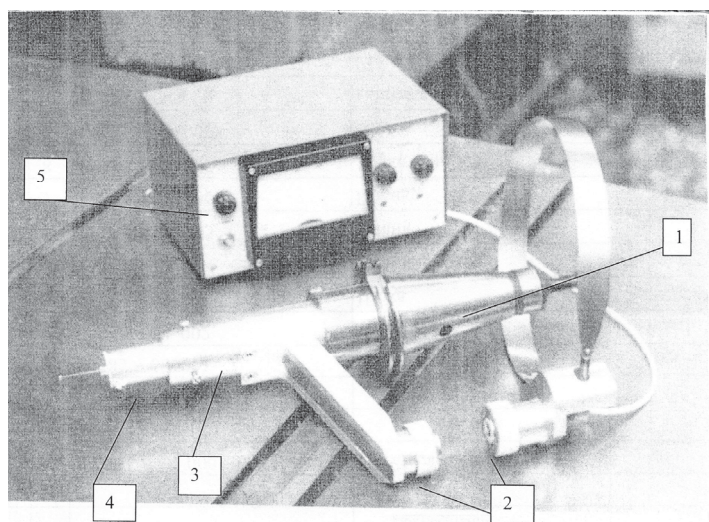


Рис. 10.32. Измерительный модуль с отсчетно-командным блоком

Измерительный модуль (ИМ), состоящий из перечисленных элементов, кроме отсчетно-командного блока, устанавливается в ячейку инструментального магазина (рис. 10.33).

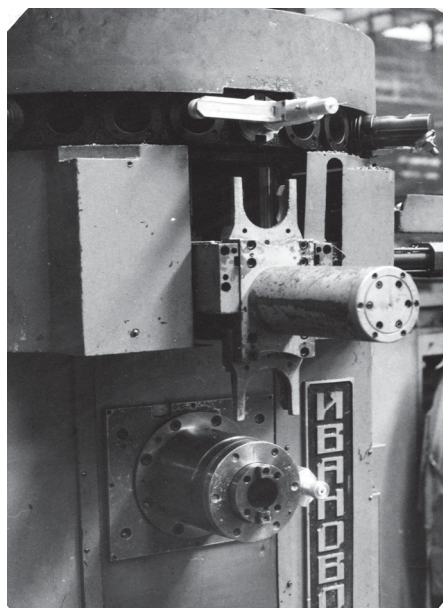


Рис.10.33. Измерительный модуль в инструментальном магазине станка

Для выполнения различных метрологических задач (в том числе измерение отверстий) ИМ по команде системы программного управления захватывается автооператором (промышленным роботом) и перемещается в зону шпинделя станка (рис. 10.34). В этом положении ИМ находится до тех пор, пока автооператор не повернется на  $180^\circ$  и ИМ не окажется напротив отверстия шпинделя станка.

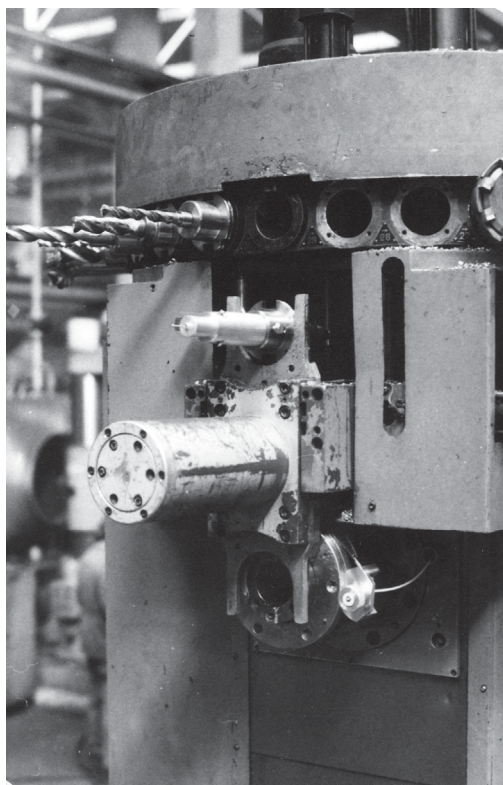


Рис. 10.34. Измерительный модуль в схвате автооператора

Далее ИМ вводится в шпиндель станка (рис. 10.35). Происходит автоматическое соединение стыковочного узла ИМ с приемно-передающим устройством отсчетно-командного блока. Затем по команде системы управления станка выполняются следующие операции:

- опознавание соответствующей заготовки по характерным для нее поверхностям;
- контроль точности установки (базирования) заготовки;
- измерение линейных размеров, в том числе диаметров больших (рис. 10.36) и малых отверстий, глубины отверстий;



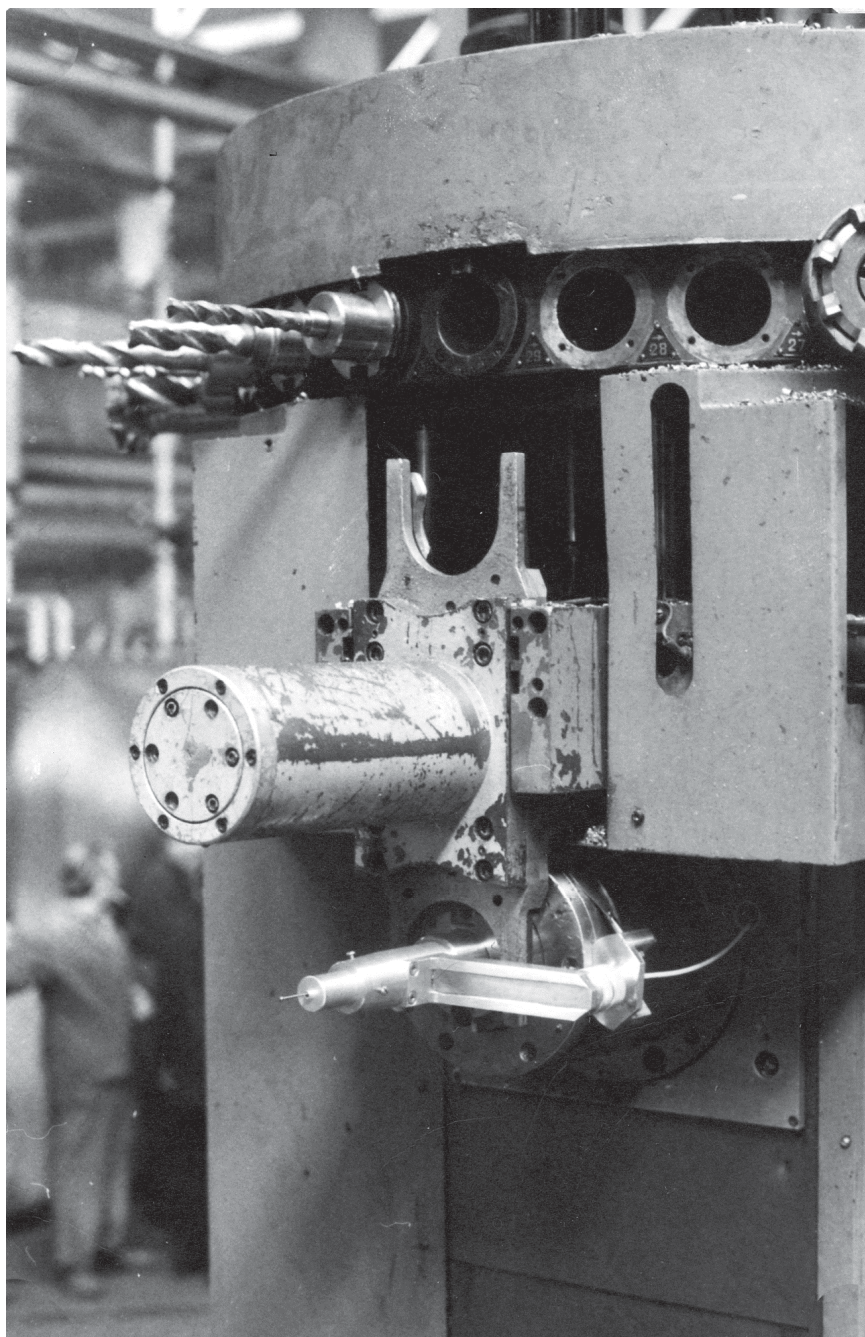


Рис. 10.35. Измерительный модуль установлен в шпиндель станка

- измерение погрешности формы в продольном и поперечном сечениях;
- при смене наконечника и изменении чувствительности – определение шероховатости по всей диаметральной поверхности в различных сечениях;
- определение шероховатости по всей глубине отверстия в различных сечениях (при смене измерительного наконечника на иглу и изменении чувствительности).

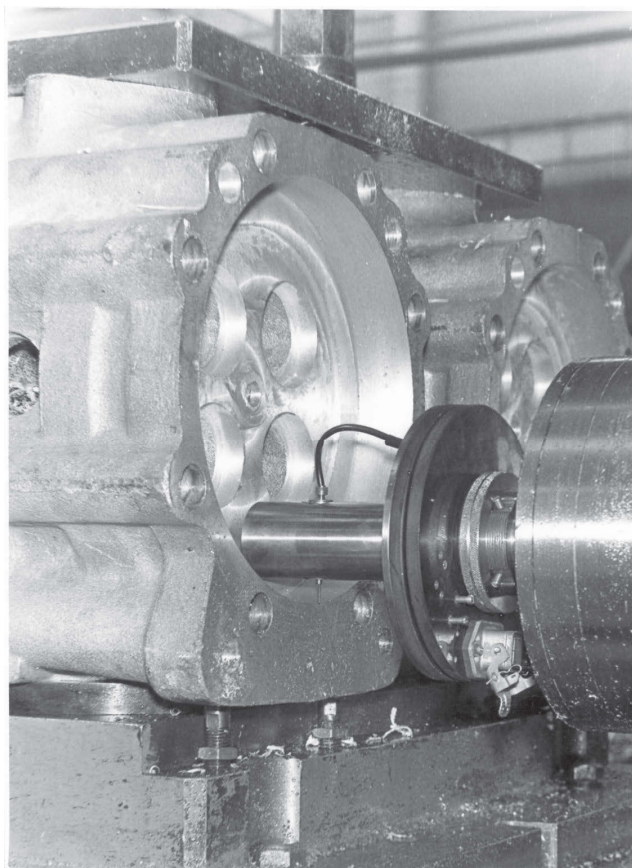


Рис. 10.36. Контроль диаметра и формы отверстий

Для устранения погрешностей, связанных с базированием измерительного модуля и, тем самым, повышением точности измерения, используется двухконтактный ИМ (а. с. № 1229562). Он представляет конструкцию (рис. 10.37), состоящую из аналогичных узлов предшествующего изделия: переходной оправки 3, шпиндельной оправки 4, токопередающего устройства вместе со стыковочным узлом 5.

Особенностью ИМ является наличие двухконтактной однокоординатной измерительной головки 2 с завальцованными шариками 1 и 6, что дает возможность выполнять следующие операции:

- измерение диаметрального размера установленных на станке заготовок и деталей;
- измерение погрешностей формы отверстий в поперечном и продольном сечениях;

- совместно с измерительной системой станка измерение межцентрового расстояния, расстояния между плоскостями заготовок и деталей;
- определение погрешности положения плиты-спутника или заготовки на станке.

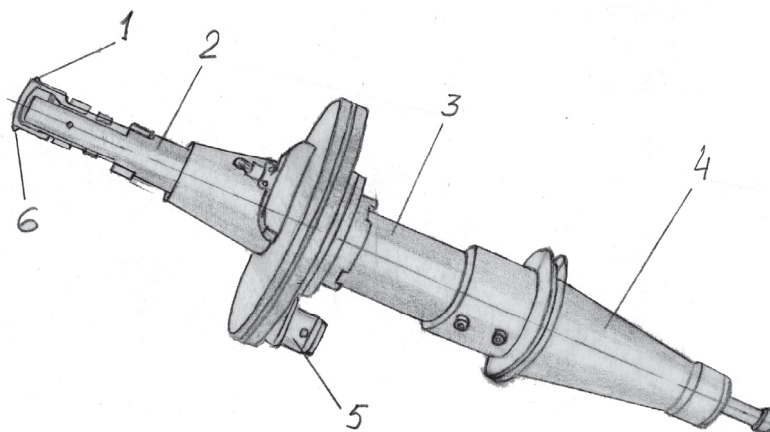


Рис. 10.37. Двухконтактный измерительный модуль

Вся информация от ИМ поступает в отсчетно-командный блок, установленный на пульте управления станка, или непосредственно в систему управления станка при наличии такой возможности или при соответствующей доработке УЧПУ. Автономное измерение погрешности формы или шероховатости поверхности осуществляется путем ввода переходной оправки с датчиком в контролируемое отверстие и последующего вращения преобразователя с передачей информации на ОКБ в цифровом или сигнальном исполнении (см. рис. 10.36).

### Контрольные вопросы и задания

1. Какие материалы используют для изготовления деталей типа втулок?
2. Изобразите схемы обработки втулок. Когда их применяют?
3. В чем состоит и для чего применяется статическая балансировка дисков?
4. Перечислите основные способы обработки отверстий.
5. Что такое глубокое сверление? Как можно предотвратить «увод» сверла?
6. Назовите методы нарезания наружной и внутренней резьб.
7. Как производят контроль отверстий?

## 11. ОБРАБОТКА РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

### 11.1. ВИДЫ РЕЗЬБ И РЕЗЬБОВОЙ ИНСТРУМЕНТ

В машиностроительном производстве применяют цилиндрические резьбы – крепежные и ходовые, а также конические резьбы.

Основной крепежной резьбой является метрическая резьба треугольного профиля с углом  $60^\circ$ . Дюймовая резьба с углом профиля  $55^\circ$  также является крепежной, но в СНГ она применяется только при изготовлении запчастей и ремонте старого или зарубежного оборудования. Применение дюймовой резьбы при проектировании новых изделий не разрешается.

Ходовые резьбы изготавливают с прямоугольным и трапецеидальным профилем; последние бывают однозаходные и многозаходные. Резьба может быть наружная (на наружной поверхности детали) и внутренняя (на внутренней поверхности детали).

Наружную резьбу можно изготавливать различными инструментами: резцами, гребенками, плашками, самораскрывающимися резбонарезными головками, дисковыми и групповыми фрезами, шлифовальными кругами, накатным инструментом.

Для изготовления внутренней резьбы применяют резцы, метчики, раздвижные метчики, групповые фрезы, накатные ролики.

Тот или иной метод нарезания резьбы применяется в зависимости от профиля резьбы, характера и вида материала изделия, объема производственной программы и требуемой точности.

При нарезании резьбы помимо основного критерия – точности среднего диаметра резьбы – необходимо выдерживать в определенном соотношении угол профиля и шаг, что значительно осложняет процесс нарезания резьбы. Кроме того, поверхность резьбы должна быть чистой и гладкой.

### 11.2. НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ РЕЗЦАМИ И ГРЕБЕНКАМИ

Треугольную резьбу часто нарезают на токарно-винторезных станках **резьбовыми резцами**, т. е. резцами обычного типа, заточенными под углом  $60^\circ$



для метрической резьбы и  $55^\circ$  – для дюймовой. Получение профиля резьбы обеспечивается соответствующим профилем резьбового резца, который должен быть заточен очень точно, и правильной установкой резца относительно детали. Резец должен быть расположен строго перпендикулярно оси станка, так как в противном случае резьба получится косой. Кроме того, передняя поверхность резца должна быть расположена на высоте центров станка, поскольку при другом ее положении резьба будет нарезана с неправильным углом.

Высокие требования, предъявляемые к заточке резцов и сохранению правильного профиля, привели к внедрению в производство фасонных резьбовых резцов – **призматических** (рис. 11.1, *а*) и **круглых** (дисковых) (рис. 11.1, *б*). У этих резцов размеры элементов профиля резьбы выдерживаются более точно, чем у обычных, поскольку такие резьбовые резцы затачиваются по передней поверхности, а отшлифованные при изготовлении задние (боковые) поверхности сохраняют профиль неизменным.

Для улучшения качества поверхности резьбы часто применяют **пружинные державки** (рис. 11.1, *в*). Некоторые заводы применяют многорезцовые резьбовые головки или многогранные пластины. Трехгранная головка, представленная на рис. 11.1, *г*, состоит из корпуса 3, к которому болтом 4 прикрепляется трехгранная пластина 1 (отдельно показана на рис. 11.1, *д*). По мере затупления одной из граней пластина перезакрепляется так, чтобы в работе была новая незатупившаяся грань. Для этой цели в корпусе имеется штифт 2 (рис. 11.1, *г*), по которому пластина фиксируется своими тремя точно расположенными цилиндрическими отверстиями. Применение многорезцовых головок и многогранных пластин наиболее целесообразно в условиях серийного производства.

При нарезании резьбы одним резцом режущая кромка его вследствие быстрого притупления теряет форму, поэтому рекомендуется черновые ходы производить одним резцом с менее точным профилем, а чистовые ходы – чистовым резцом.

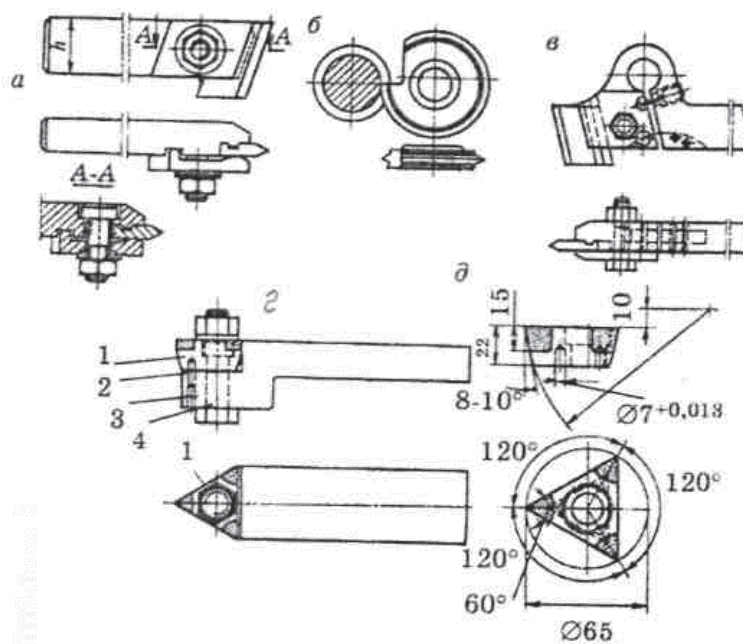


Рис. 11.1. Резцы для нарезания резьбы: а – призматический; б – круглый; в – пружинная державка; г – трехгранная головка; д – трехгранная пластина; е – пластина; 1 – пластина; 2 – штифт; 3 – корпус; 4 – болт

Нарезание резьбы резцом производится за много ходов в зависимости от требуемой точности, диаметра резьбы и твердости материала нарезаемой детали.

Необходимо заметить, что применение высоких скоростей резанья при нарезании наружной и внутренней резьб в упор часто приводит к браку детали в тех случаях, когда на станке нет специальных автоматических упоров, ограничивающих ход суппорта. Происходит это потому, что при большой частоте вращения шпинделя рабочий не всегда успевает отвести резец по окончании рабочего хода.

В крупносерийном и массовом производстве, а также в специализированном серийном производстве резьбу часто нарезают на станках, работающих по автоматическому циклу.

В полуавтоматах для скоростного нарезания резьб подача на глубину, рабочий и ускоренный ход, отвод резца и подача его в исходное положение осуществляются системой кулачковых, храповых, рычажных и гидравлических механизмов.

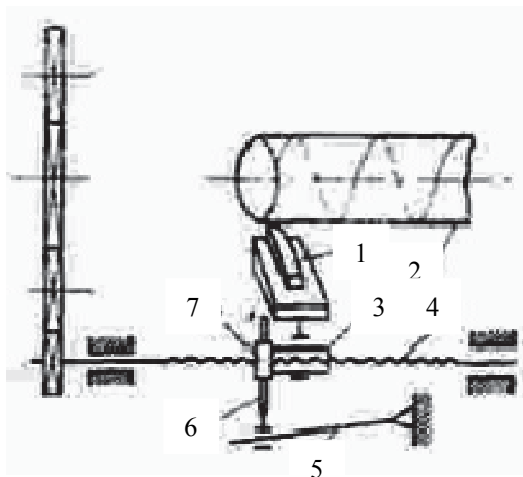


Рис. 11.2. Коррекционное устройство для нарезания точной резьбы

При нарезании точной резьбы на станках часто применяют специальные коррекционные устройства, которые компенсируют ошибки шага ходового винта. Эти устройства автоматически вводят поправки на точность ходового винта путем дополнительного поворота маточной гайки.

Схема такого устройства показана на рис. 11.2. Перемещение резца 1

относительно нарезаемой детали 2 определяется перемещением маточной гайки 3 от ходового винта 4 и дополнительным поворотом ее от коррекционной линейки 5 через рейку 6 и зубчатое колесо 7.

Нарезание прямоугольной и трапецеидальной резьб является более сложной работой в сравнении с нарезанием треугольных резьб. Резьбы прямоугольного и трапецеидального профиля изготавливают как однозаходными, так и многозаходными. При нарезании таких резьб для установки резцов по углу подъема винтовой линии токари-новаторы

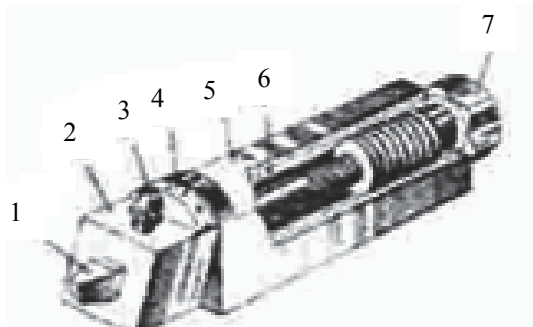


Рис. 11.3. Специальная державка для нарезания прямоугольной и трапецеидальной резьбы

применяют специальные державки.

На рис. 11.3 показана одна из таких державок, состоящая из поворотной части 2 и корпуса 5.

В поворотной части имеется гнездо для резца 1, закрепляемого винтом 3. На поворотной части державки имеется буртик 4, на котором нанесена шкала с градусными делениями.

С помощью этой шкалы можно отсчитывать

поворот согласно углу подъема винтовой линии резьбы, не производя специальной заточки резца. При поворачивании болта 7 поворотная часть 2 державки закрепляется винтом 6.

Для повышения производительности труда при нарезании трапецеидальных резьб с крупным шагом применяют державку с двумя

резцами (рис. 11.4) – прорезным 1 и профильным 2, установленными один от другого на расстоянии, равном шагу нарезаемой резьбы.

На рис. 11.5, а показано последовательное нарезание трапецеидальной резьбы тремя резцами.

На рис. 11.5, б, в показаны приемы нарезания прямоугольной резьбы двумя и тремя резцами.

Применение для нарезания резьбы **гребенок** сокращает время нарезания и, таким образом, увеличивает производительность резьбонарезания. При нарезании резьбы гребенкой работа резания распределяется между несколькими зубьями. Для этой цели концы зубьев стачиваются от одного края гребенки к другому, так что глубина резания постепенно увеличивается. Особенно целесообразно и экономично применять гребенки при изготовлении больших партий одинаковых деталей. Гребенки нельзя применять при нарезании деталей, у которых резьба доходит до выступа или буртика, так как часть резьбы, находящаяся ближе к буртику, не получит полного профиля. Для точных резьб гребенки не применяются, поскольку они не могут дать высокой точности. Их можно использовать только для предварительного нарезания.

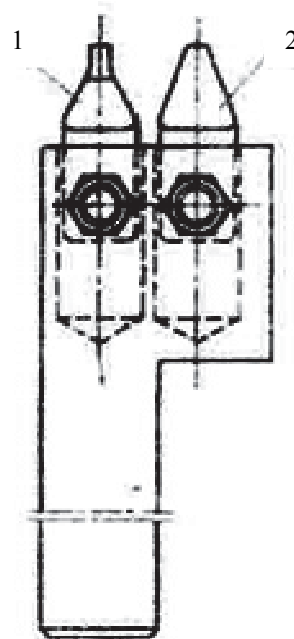


Рис. 11.4. Державка с двумя резцами для нарезания трапецеидальной резьбы

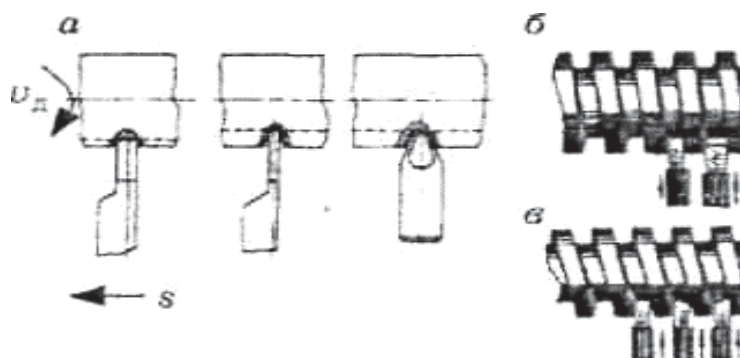


Рис. 11.5. Приемы нарезания резьбы: а – трапецеидальной тремя резцами; б – прямоугольной двумя резцами; в – прямоугольной тремя резцами

Гребенки бывают плоские, тангенциальные и дисковые с кольцевыми и винтовыми канавками. Плоские гребенки применяются для нарезания треугольной резьбы с малым углом подъема, а тангенциальные – для нарезания треугольной резьбы с большим углом подъема. Они снабжены резьбой, обратной по отношению к резьбе обрабатываемой детали. Если эта деталь должна иметь левую резьбу, то резьба гребенки – правая, и наоборот.

Круглые (дисковые) гребенки, так же как и круглые (дисковые) резцы, имеют то преимущество, что они затачиваются только по передней поверхности, допускают большое число переточек, а следовательно, имеют большой срок службы и удобны в эксплуатации.

### 11.3 . НАРЕЗАНИЕ МНОГОЗАХОДНЫХ РЕЗЬБ

Нарезание многозаходной резьбы любого профиля начинают так, как требовалось бы для нарезания однозаходной резьбы с шагом, равным длине хода.

Нарезав одну винтовую канавку на полный профиль, отводят резец обратно (на себя) и, дав ходовому винту обратный ход, возвращают суппорт в начальное положение. После этого при неподвижном ходовом винте, а следовательно, и неподвижном резце поворачивают деталь на такую часть

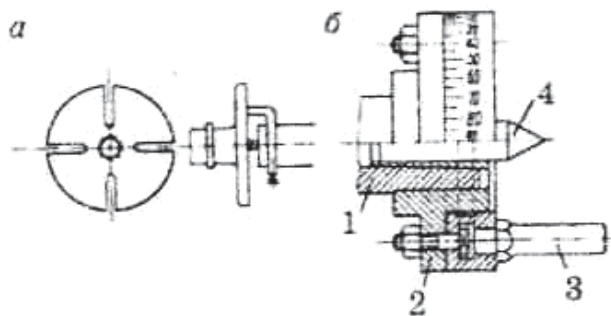


Рис. 11.6. Поводковые патроны для нарезания многозаходной резьбы:  
*а* – с пазами; *б* – со специальной планшайбой; 1 – шпиндель; 2 – корпус;  
 3 – поводок; 4 – центр

окружности, сколько заходов имеет резьба, т. е. при двухзаходной – на половину оборота, при трехзаходной – на треть оборота и т. д.

Весьма просто нарезается многозаходная резьба при помощи поводкового патрона с несколькими пазами. Количество пазов должно равняться количеству заходов винта или быть кратным этому количеству (рис. 11.6, *а*).

После нарезания каждого захода деталь снимают с центров и ставят вновь на них так, чтобы хомутик попал в следующий паз поводкового патрона, затем нарезают следующий заход.

Большое распространение имеет метод нарезания многозаходных винтов при помощи специальной планшайбы (рис. 11.6, б) с двумя дисками, причем один из этих дисков может поворачиваться относительно другого на различные углы в зависимости от числа заходов резьбы.

На цилиндрической поверхности вращающегося диска нанесены деления, при помощи которых один диск устанавливается относительно другого на определенный угол.

На токарных станках, имеющих передачу к ходовому винту через сменные зубчатые колеса (рис. 11.7), многозаходные резьбы можно нарезать при помощи промежуточного колеса *1* и колеса *2*, сцепляемого с ним на гитаре. На колесе *1* ставится метка, после чего гитара расцепляется, а шпиндель поворачивается на угол, соответствующий количеству зубьев колеса и количеству заходов нарезаемой резьбы. Данный метод применяется, если число зубьев колеса делится на число заходов резьбы, в противном случае либо подбирают другие колеса, либо пользуются другим методом.

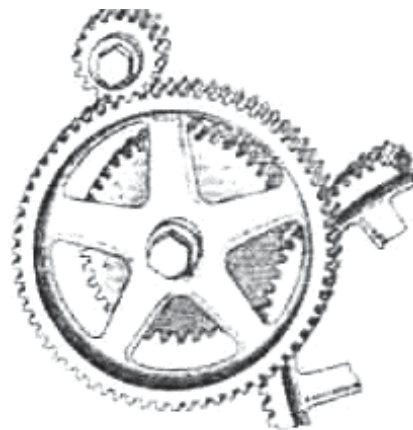


Рис. 11.7. Использование сменных зубчатых колес при нарезании резьбы

Менее точным, но не требующим никаких приспособлений, является нарезание при помощи передвижения верхних салазок суппорта с резцом на величину расстояния между заходами резьбы. Этим методом, как и предыдущим, можно пользоваться при нарезании наружной и внутренней многозаходной резьбы.

Многозаходную резьбу можно нарезать при помощи многорезцовых державок. На рис. 11.8, а показан резцедержатель для двух резцов, нарезающих одновременно двухзаходную резьбу.

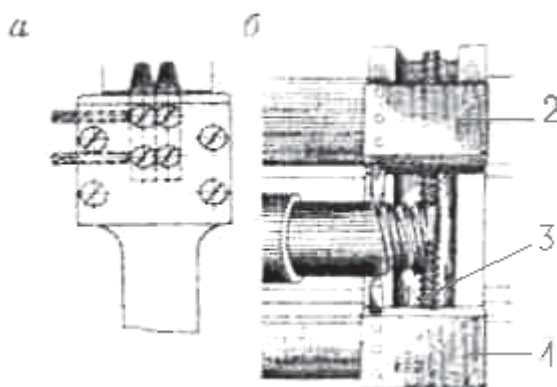


Рис. 11.8. Резцедержатели для нарезания двухзаходных резьб: *а* – резцедержатель для двух резьб; *б* – специальное приспособление с двумя резцедержателями

На рис. 11.8, *б* показано приспособление для нарезания двухзаходной резьбы, состоящее из переднего 1 и заднего 2 резцедержателей, соединенных поперечным винтом 3 с правой и левой резьбой. Это приспособление можно применять для нарезания однозаходной резьбы. В данном случае резцы, из которых один будет черновым, а другой – чистовым, устанавливают один от другого на расстоянии, равном половине шага нарезаемой резьбы.

Основное время в минутах для нарезания резьбы профильным резцом или гребенкой на токарных станках определяется по формуле, мин,

$$t_0 = \frac{l_0 + l_{\text{вп}} + l_n}{n \cdot s} \cdot i \cdot g,$$

где  $l_0$  – длина резьбы на детали, мм;  $l_{\text{вп}}$  – величина резания резцом, мм;  $l_n$  – величина перебега резца, мм;  $s$  – подача, мм/об ( $s$  равна шагу резьбы);  $n$  – частота вращения детали в  $\text{мин}^{-1}$ ;  $i$  – число ходов;  $g$  – число заходов резьбы (при нарезании резьбы гребенкой  $g = 1$ ).

Основное время для нарезания резьбы на токарном станке по полуавтоматическому циклу определяется по формуле

$$t_0 = \frac{l_0 + l_{\text{вп}} + l_n}{n \cdot s} \cdot i \cdot k_{\text{о.х}},$$

где  $k_{\text{о.х}} = \frac{360}{240^\circ} = 1,5$  – коэффициент, учитывающий время на обратный ход

каретки суппорта (т. е. время на автоматическое перемещение каретки суппорта



в исходное положение перед началом каждого хода;  $240^\circ$  – угол поворота копирного барабана за время рабочего хода, который обычно принимается в приспособлении для полуавтоматического нарезания резьбы). Остальные обозначения прежние.

#### 11.4. НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ ВРАЩАЮЩИМИСЯ РЕЗЦАМИ (ВИХРЕВЫМ МЕТОДОМ)

Нарезание наружной резьбы так называемым вихревым методом осуществляется нижеследующим образом.

Деталь, на которой должна быть нарезана резьба, закрепляется в центрах токарно-винторезного станка или в патроне. В процессе работы она медленно вращается. В специальной головке, установленной на суппорте станка (рис. 11.9, а), закрепляется резец с пластинкой твердого сплава. Головка, вращающаяся от специального привода, расположена эксцентрично относительно оси нарезаемой детали. Таким образом, при вращении головки резец, закрепленный в ней, описывает окружность, диаметр которой больше диаметра детали. Периодически (один раз за каждый оборот головки) резец соприкасается с нарезаемой деталью по дуге и за каждый оборот головки прорезает на детали серповидную канавку, имеющую профиль резьбы.

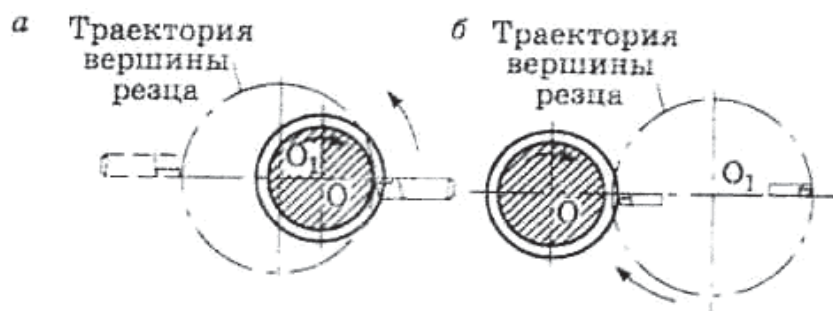


Рис. 11.9. Схема нарезания резьбы вращающимися резцами (вихревой метод нарезания резьбы); O-O<sub>1</sub> – расстояние между осями вращения детали и резца

За каждый оборот вращающейся детали при перемещении вращающейся головки вдоль оси детали на величину шага резьбы на детали будет образовываться один виток резьбы. При нарезании резьбы головку поворачивают относительно оси детали на величину угла подъема винтовой линии резьбы.



Вихревое нарезание наружной резьбы с внешним касанием можно производить и по схеме, изображенной на рис. 11.9, б. На практике нарезание резьбы по этой схеме применяется реже, чем по схеме, показанной на рис. 11.9, а, вследствие образования более короткой и толстой стружки и получения менее чистой поверхности резьбы.

При вихревом нарезании резьбы скорость резания, соответствующая скорости вращения резца, принимается в пределах 150...450 м/мин; круговая подача берется 0,2...0,8 мм за один оборот резца.

В некоторых конструкциях головок для вихревой резьбы закрепляют не один, а два или четыре резца (рис. 11.10, а); у четырехрезцовых головок два резца прорезают канавку, третий придает ей профиль резьбы, четвертый удаляет заусенцы (на рисунке один резец).

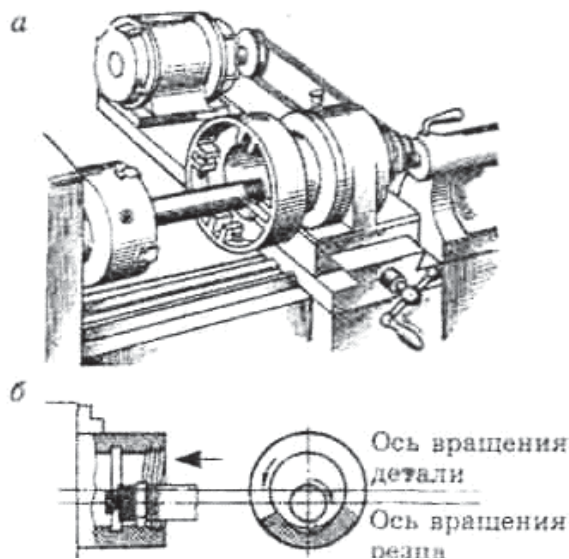


Рис. 11.10. Нарезание резьбы вращающимися резцами: а – головка для резцов (в положении, показанном на рисунке, установлен только один резец); б – схема нарезания внутренней резьбы

При нарезании внутренней резьбы деталь закрепляется в патроне станка, резец – в оправке головки, которая устанавливается на суппорте станка (рис. 11.10, б).

Нарезать резьбу вихревым методом можно на токарно-винторезных, резьбонарезных и резьбофрезерных станках при помощи специальных устройств.

Основное время нарезания резьбы вращающимися резцами (вихревым методом) определяется по формуле, мин,

$$t_0 = \frac{l_0 + l_{ep} + l_n}{n \cdot s} \cdot i = \frac{l_0 + l_{ep} + l_n}{s \cdot s_0 \cdot n_p \cdot z_p} \cdot i,$$

где  $l_0$  – длина резьбы, мм;  $l_{вр}$  – величина врезания резьбы, мм ( $l_{вр} = 1 - 2$  шага резьбы, мм);  $l_n$  – величина перебега резьбы, мм ( $l_n = 1 - 2$  шага резьбы, мм);  $s$  – шаг нарезаемой резьбы, мм;  $n$  – частота вращения детали в минуту.

$$s_0 = \frac{\pi \cdot D_n \cdot n}{n_p \cdot z_p},$$

где  $n_p$  – частота вращения резцовой головки,  $\text{мин}^{-1}$ ,  $n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot D_p}$ ;

$D_p$  – диаметр резцовой головки, мм;  $v_p$  – скорость резания, м/мин;  $z_p$  – число резцов, установленных в резцовой головке ( $z_p = 1-4$ );  $i$  – число ходов ( $i = 1$ ; резьба обычно нарезается за один ход);  $D_n$  – наружный диаметр резьбы, мм;  $s_0$  – круговая подача детали в миллиметрах на один резец за один оборот резцовой головки, мм.

### 11.5. НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ ПЛАШКАМИ

#### И САМОРАСКРЫВАЮЩИМИСЯ РЕЗЬБОНАРЕЗНЫМИ ГОЛОВКАМИ

Основной недостаток всех типов плашек – это необходимость свинчивания их по окончании нарезания, что вызывает значительную затрату времени и снижает производительность, а также ухудшает качество резьбы.

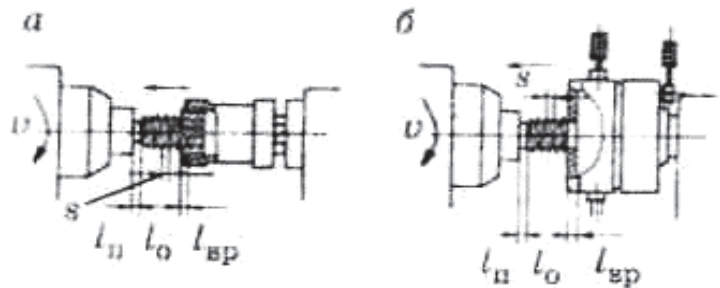


Рис.11.11. Схема нарезания резьбы:  
а – круглой плашкой; б – резьбонарезной головкой

Нарезание резьбы самораскрывающимися резьбонарезными головками (рис. 11.11, б), применяемыми на автоматах, revolverных и болторезных станках, значительно производительнее (в 3 – 4 раза), чем нарезание плашками (рис. 11.11, а), так как благодаря автоматическому раскрытию обратного свинчивания их не требуется. Резьбонарезные головки нормализованной конструкции изготавливаются серийным порядком с тангенциальным и радиальным расположением плашек, а также круглыми плашками.

Основное время в минутах при нарезании резьбы плашками определяется по формуле, мин,

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{\text{вп}} + l_n)}{n \cdot s} + \frac{(l_0 + l_{\text{вп}} + l_n)}{n_0 \cdot s},$$

где  $l_0$  – длина нарезаемой резьбы, мм;  $l_{\text{вп}}$  – величина врезания плашек, мм ( $l_{\text{вп}} = l_n = 1 - 2$  шага резьбы, мм);  $l_n$  – величина перебега плашек, мм;  $s$  – шаг нарезаемой резьбы, мм;  $n_0$  – частота вращения заготовки при обратном ходе (при свинчивании),  $\text{мин}^{-1}$ .

Основное время при нарезании резьбы самораскрывающимися резьбонарезными головками определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{\text{вп}} + l_n)}{n \cdot s}.$$

## 11.6. ФРЕЗЕРОВАНИЕ РЕЗЬБЫ

Фрезерование наружной и внутренней резьбы широко применяется в производстве; оно осуществляется двумя способами: 1) дисковой фрезой; 2) групповой фрезой.

Первый способ – фрезерование дисковой фрезой – применяется при нарезании резьб с большим шагом и крупным профилем. Нарезание дисковой фрезой производится за один рабочий ход и для очень крупных резьб – за два

или три хода. Профиль фрезы соответствует профилю резьбы; ось фрезы располагается по отношению к оси детали под углом  $\alpha$ , равным углу наклона резьбы (рис. 11.12, а). Дисковые фрезы применяются симметричные (рис. 11.12, б) и несимметричные (рис. 11.12, в) в зависимости от конструкции

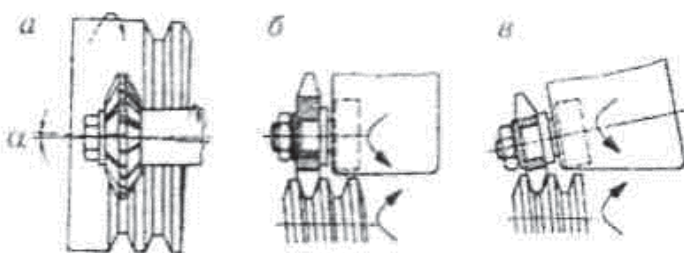


Рис.11.12. Схемы фрезерования резьбы дисковыми фрезами: а – смещение осей фрезы и нарезаемой детали; б – фреза симметричного профиля; в – фреза несимметричного профиля

станка. При нарезании резьбы фреза вращается и имеет поступательное движение вдоль оси детали, причем перемещение за один оборот детали должно точно соответствовать шагу резьбы. Вращение детали происходит медленно в соответствии с подачей.

Основное время при нарезании резьбы дисковой фрезой на резьбофрезерных станках определяется по формуле, мин,

$$t_o = t_1 + t_2 + t_3,$$

где  $t_1$  – время нарезания при первом ходе;  $t_2$  — время нарезания при втором ходе;  $t_3$  – время нарезания при третьем ходе.

Время нарезания для каждого хода определяется отдельно, так как глубина резания, минутная подача и врезание для каждого из них могут быть различны.

Время нарезания для каждого хода  $t_l$  определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{\text{вр}} + l_{\text{п}})}{s_t} \cdot \frac{\pi \cdot d}{\cos \alpha \cdot s_m} \cdot i \cdot g,$$

где  $l_0$  – длина резьбы, мм;  $l_{\text{вр}}$  – величина врезания дисковой фрезы, мм;  $l_{\text{п}}$  – величина перебега дисковой фрезы, мм (для резьбы на ход  $l_{\text{п}} = 1 \dots 3$  шага резьбы; для резьбы в упор  $l_{\text{п}} = 0$ );  $d$  – наружный диаметр нарезаемой резьбы, мм;  $s_t$  – шаг резьбы, мм;  $\alpha$  – угол наклона витков резьбы к оси нарезаемой детали, град;  $s_m$  – минутная подача по наружной окружности нарезаемой детали, мм/мин;  $i$  – число ходов;  $g$  – число заходов резьбы.

$$s_m = s_z \cdot z \cdot n_{\phi},$$

где  $s_z$  – подача на один зуб резьбовой фрезы, мм;  $z$  – число зубьев резьбовой фрезы;  $n_{\phi}$  – частота вращения резьбовой фрезы в минуту,

$$n_{\phi} = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D},$$

где  $v$  – скорость резания, м/мин;  $D$  – диаметр фрезы, мм.

Величину врезания дисковой фрезы  $l_{вр}$  можно приблизительно определить по формуле  $l_{вр} = \sqrt{t \cdot (D - t)}$ , мм, здесь  $t$  – глубина резьбы, мм.

Второй способ – фрезерование групповой фрезой – применяется для получения коротких резьб с мелким шагом (рис. 11.13, *а* – фрезерование наружной резьбы; рис. 11.13, *б* – фрезерование внутренней резьбы).

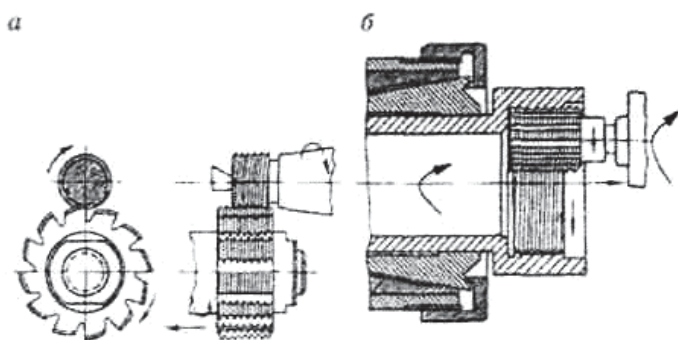


Рис. 11.13. Схемы фрезерования резьбы групповыми фрезами

Групповая фреза (называется иногда гребенчатой) представляет собой как бы группу дисковых фрез, собранных на одну оправку (отсюда название «групповая фреза»). Длина фрезы обычно принимается на 2...5 мм больше длины фрезеруемой резьбы.

Групповая фреза для нарезания резьбы устанавливается параллельно оси детали, а не под углом, как дисковая фреза (резьбу с большим наклоном групповой фрезой нарезать нельзя). Предварительно производят врезание фрезы на глубину резьбы. Во время полного оборота детали групповая фреза перемещается на величину шага резьбы. Фрезерование резьбы происходит за 1,2 оборота детали; 0,2 оборота детали необходимо для врезания фрезы на глубину резьбы и перекрытия места врезания.

Основное время для нарезания резьбы групповой фрезой на резьбофрезерных станках определяется по нижеследующей формуле, при этом принято, что деталь делает один оборот и коэффициент врезания равен 1,2; число ходов и число заходов при нарезании групповой фрезой равно единице, мин,

$$t_i = \frac{\pi \cdot d}{S_m}.$$

## 11.7. ФОРМИРОВАНИЕ РЕЗЬБ МЕТЧИКАМИ И ЧИСТОВЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Внутреннюю резьбу часто нарезают метчиками, которые бывают ручными и машинными. Ручные метчики применяются обычно комплектом из двух или трех штук, машинные метчики применяются для работы в основном на сверлильных станках.

Машинные метчики бывают цельными, прямыми, со вставными ножами и гаечными. Для нарезания резьбы в отверстиях малых и средних диаметров применяют метчики цельные и гаечные, для нарезания в отверстиях больших диаметров (до 300 мм) – цельные метчики со вставными ножами или резьбонарезные головки с раздвижными плашками.

Для нарезания гаек в специализированном производстве крепежных деталей или при изготовлении большого количества гаек в серийном производстве применяются специальные станки для нарезания гаек при помощи изогнутого метчика. Такой станок (рис. 11.14, а) имеет подшипник, в котором закреплен пустотелый шпиндель

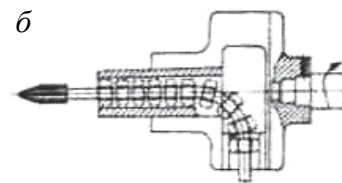
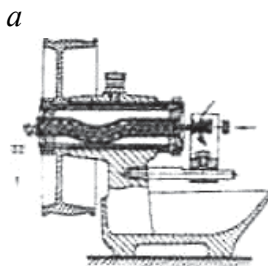


Рис. 11.14. Схемы нарезания резьб в гайках на специальных станках

с изогнутой трубкой, в которой расположен изогнутый метчик. До начала работы трубка заполняется гайками. Гайки после нарезания резьбы перемещаются автоматически сквозь трубку и падают в ящик. Изогнутая форма метчика препятствует выпадению его из шпинделя.

Наиболее производительным является нарезание гаек на гайконарезных автоматах и полуавтоматах метчиками с изогнутым хвостовиком и закрепленными в специальном патроне (рис. 11.14, б), состоящем из двух половин; метчик вместе с направляющей втулкой закладывается в одну половину патрона, после чего вторая половина скрепляется болтами с первой.

От перемещения метчик удерживается гайками, находящимися на его хвосте. Гайки загружаются в бункер станка и под действием ползуна подаются к метчику. Такие автоматы изготавливаются обычно двухшпиндельными.

Если при нарезании резьбы сквозной проход метчика невозможен, необходимо вывинтить метчик по окончании нарезания, для чего у многих револьверных и сверлильных станков имеются реверсивные устройства. При отсутствии у станков реверсивного устройства применяются специальные реверсивные патроны, которые имеют зубчатую передачу, переключающуюся на обратный ход в конце нарезания отверстия.

Для устранения поломок метчика при упоре его в дно глухого отверстия, а также при перегрузке, являющейся следствием повышенной твердости материала или отсутствия смазки и т. п., применяются специальные предохранительные патроны, позволяющие метчику останавливаться при вращающемся шпинделе, когда крутящий момент превысит величину, безопасную для прочности механизма.

Основное время в минутах при нарезании резьбы метчиком в сквозном и глухом отверстии определяется по формуле

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{\text{вр}} + l_{\text{п}})}{n \cdot S} \cdot i = \frac{(l_0 + l_{\text{вр}} + l_{\text{п}})}{n_0 \cdot S} \cdot i,$$

где  $l_0$  – длина нарезаемой резьбы, мм;  $l_{\text{вр}}$  – величина врезания метчика, мм,  $l_{\text{вр}} = 1-3S$ ;  $l_{\text{п}}$  – длина перебега метчика, мм ( $l_{\text{п}} = 2-3S$  при сквозном отверстии и  $l_{\text{п}} = 0$  при глухом отверстии);  $s$  – шаг нарезаемой резьбы, мм;  $n$  – частота вращения шпинделя при рабочем ходе (при нарезании резьбы),  $\text{мин}^{-1}$ ,  $n_0$  – частота вращения шпинделя при обратном ходе (при вывинчивании метчика),  $\text{мин}^{-1}$ .

Основное время при нарезании резьбы гаечным метчиком определяется по формуле

$$l_0 = \frac{(l_0 + l_{\text{вр}} + l_{\text{п}})}{n \cdot S},$$

где  $l_0 = 0$ .

При нарезании в термически обработанных до высокой твердости сталях, а также в труднообрабатываемых сталях и сплавах повышенной прочности твердосплавные метчики обеспечивают значительно большую стойкость и лучшее качество нарезаемой резьбы, чем метчики из быстрорежущей стали. В метчиках диаметром 40 мм и более целесообразно применять механическое крепление пластинок твердого сплава, так как это обеспечивает рациональное использование материала, более высокое качество и долговечность инструмента.

Для нарезания резьбы на revolverных станках и автоматах применяют резьбонарезные головки (рис. 11.15) с раздвижными плоскими плашками, называемыми иногда самооткрывающимися метчиками. Принцип действия этих головок схож с принципом действия самораскрывающихся головок для нарезания наружной резьбы. Как только нарезание резьбы окончено, режущие плашки автоматически сдвигаются, что позволяет вывести их из отверстия, в котором нарезалась резьба.

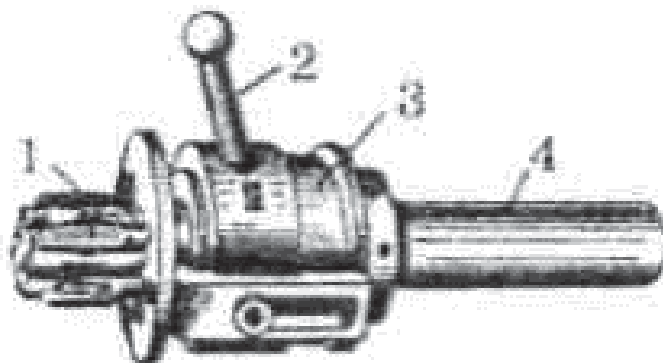


Рис.11.15. Резьбонарезная головка для нарезания внутренней резьбы:  
1 – плашка; 2 – рукоятка управления,  
3 – корпус; 4 – хвостовик

Основное время при нарезании резьбы самооткрывающимся метчиком определяется по формуле, мин,

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{\text{вр}} + l_{\text{п}})}{n \cdot S}.$$



## 11.8. ШЛИФОВАНИЕ РЕЗЬБЫ

Шлифование резьбы широко применяется при изготовлении резьбонарезного инструмента, резьбовых калибров, накатных роликов, точных винтов и других деталей с точной резьбой. Шлифуют резьбу обычно после термической обработки, которая часто искажает элементы резьбы. Процесс шлифования резьбы одно- и многониточным кругом аналогичен фрезерованию соответственно дисковой или групповой фрезой.

Шлифование односточным кругом 1 (рис. 11.16, а) осуществляется при продольном перемещении детали 2. Односточные круги правят одним или двумя алмазами при помощи специального приспособления (рис. 11.16, б).

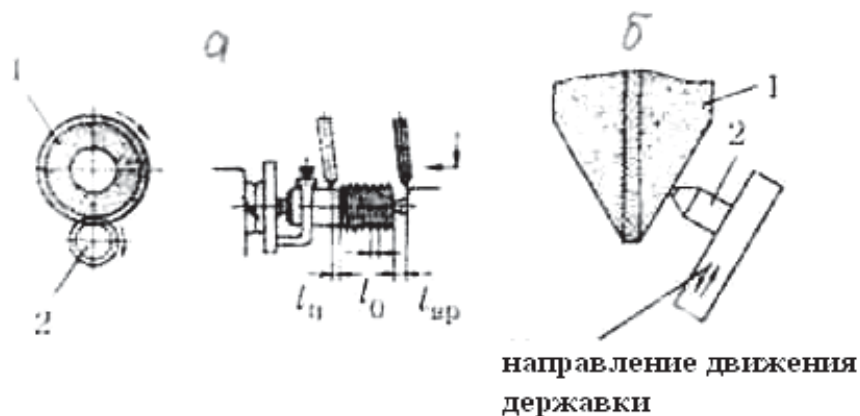


Рис. 11.16. Шлифование резьбы односточным кругом:  
а – схема шлифования: 1 – шлифовальный круг; 2 – деталь;  
б – правка круга: 1 – шлифовальный круг; 2 – державка с алмазом

Многосточные круги применяют преимущественно при шлифовании резьбы на детали с короткой нарезанной частью (обычно не более 40 мм). На рис. 11.17, а, б показаны схемы шлифования (I и II – положения круга). Ширина шлифовального круга должна быть больше длины шлифуемой резьбы на 2...4 шага. На круге делается кольцевая резьба с требуемым шагом. Шлифование производится по методу врезания при продольном передвижении детали на 2...4 шага за 2...4 ее оборота.

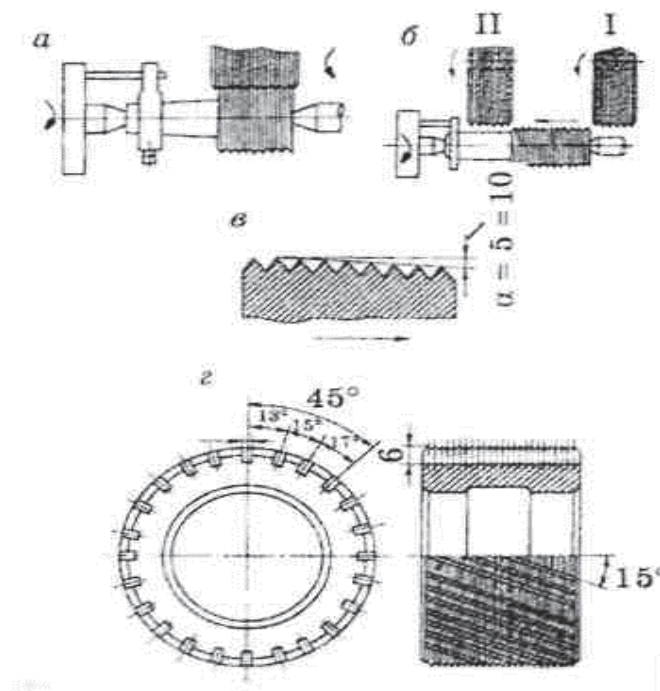


Рис. 11.17. Шлифование резьбы многониточным кругом: *а, б* – схемы шлифования; *И, II* – соответственно начальное и конечное положения шлифовального круга; *в* – заправка многониточного шлифовального круга под углом  $\alpha$ ; *г* – ролик для накатывания кольцевой резьбы на круге

Если длина резьбы больше ширины многониточного круга, шлифование производится при продольном передвижении детали относительно круга. Все нитки резьбы детали последовательно шлифуются всеми нитками шлифовального круга. Заправляют круг под углом, как показано на рис. 11.17, *в*. Врезное многониточное резьбошлифование неизбежно приводит к искажению профиля резьбы; при продольном перемещении детали относительно шлифовального круга искажение профиля получается значительно меньшим.

Профилируют многониточный шлифовальный круг на большинстве станков посредством накатывания кольцевой резьбы стальным роликом (см. рис. 11.17, *г*). Ролик для накатывания кольцевой резьбы изготавливают из закаленной стали одной из марок – Р18, У12, ХВГ. На цилиндрической поверхности ролика нарезана кольцевая резьба с требуемым шагом и углом профиля. На той же поверхности ролика прорезаны пересекающие кольцевую резьбу спиральные канавки с неравномерным шагом. Иногда вместо

спиральных канавок по всей поверхности резьбы ролика просверливают отверстия. При накатывании шлифовальный круг приводится в медленное вращение, благодаря чему круг заставляет вращаться ролик. Витки ролика постепенно выкрашивают на поверхности круга канавки, образуя кольцевую резьбу.

На некоторых резьбошлифовальных станках имеются специальные приспособления для профилирования многониточного шлифовального круга алмазом.

Основное время при шлифовании резьбы односторонним кругом определяется по следующей формуле, мин:

$$t_0 = \frac{(l_0 + l_{\text{вр}} + l_{\text{п}})a}{ns_t s_n} k,$$

где  $l_0$  – длина резьбы, мм;  $l_{\text{вр}}$  – величина врезания, мм,  $l_{\text{вр}} = l_n = 1 - 3s_t$ ;  $l_{\text{п}}$  – длина перебега резца, мм;  $s_n$  – шаг резьбы, мм;  $n$  – частота вращения детали,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $a$  – припуск на шлифование по среднему диаметру резьбы, мм;  $s_t$  – поперечная подача на один ход (глубина шлифования), мм;  $k$  – коэффициент, учитывающий точность шлифования.

Основное время при шлифовании резьбы многониточным кругом определяется по формуле

$$t_0 = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{\text{ш}}}{1000v},$$

где  $d$  – наружный диаметр резьбы в мм;  $n_{\text{ш}}$  – число оборотов детали за время шлифования резьбы,  $n_{\text{ш}}$  обычно принимают равным 2,2 (первый оборот – предварительное шлифование, второй оборот – окончательное). Подвод детали к кругу производится во время вращения детали, поэтому для шлифования требуется не 2, а 2,2 оборота;  $v$  – скорость вращения детали, м/мин.

Резьбы с большим шагом шлифуют после предварительного нарезания резцом или фрезой и их термической обработки. Резьбы с малым шагом (до 1,5 мм) на закаленном валике часто формируют вышлифовыванием одноконтурным или многоконтурным кругом.

Шлифуют резьбу главным образом на специальных резьбошлифовальных станках. При небольших размерах производства можно шлифовать наружную и внутреннюю резьбу на токарно-винторезных станках, обладающих достаточной точностью, при помощи специальных приспособлений.

Бесцентровое шлифование резьбы применяется преимущественно в массовом производстве при наличии многоконтурных кругов. Данным методом можно шлифовать только наружную резьбу. Для этих целей применяются станки, имеющие схемы обычных бесцентрово-шлифовальных станков, снабжаемые многоконтурными кругами с кольцевыми канавками с профилем шлифуемой резьбы. Круги имеют конусную заборную часть, что позволяет шлифовать деталь по наружному диаметру при наличии припуска, а образование профиля резьбы происходит постепенно по мере перемещения детали.

Деталь опирается на нож, точно установленный под углом подъема винтовой линии резьбы. Ось ведущего круга наклонена в вертикальной плоскости в ту же сторону, что и нож, но на угол, вдвое больший, благодаря чему заготовка помимо вращения осуществляет также осевую подачу на один шаг за один оборот. Вращение заготовки происходит в несколько раз медленнее, чем при круглом шлифовании.

При шлифовании резьбы на деталях, имеющих головку или буртик, препятствующий сквозной осевой подаче, образование резьбы осуществляется за 1,2...1,5 оборота заготовки. В этом случае резьба шлифуется сразу по всей длине с предварительным врезанием шлифовального круга на глубину профиля.

При шлифовании таким методом можно получить резьбу 5-й степени точности; производительность при обработке деталей длиной 20...30 мм составляет 30...50 шт. в минуту.

### 11.9. НАКАТЫВАНИЕ РЕЗЬБЫ

Накатывание резьбы осуществляется при помощи давления, а не резания металла. При этом методе волокна материала не разрезаются, а деформируются пластически под воздействием резьбонакатных плашек или роликов, выступы которых вдавливаются в обрабатываемый металл. Полученная таким методом резьба имеет ровную, чистую и уплотненную поверхность.

Накатывается резьба в холодном состоянии. Материал изделия весьма сильно влияет на качество резьбы – высокое качество резьбы получается на изделиях из пластичного материала. На твердом материале резьба, в особенности крупная, накатывается на мощных станках с большими нагрузками.

Резьбу можно накатывать двумя способами: 1) плоскими накатными плашками и 2) накатными роликами (иногда их называют круглыми плашками).

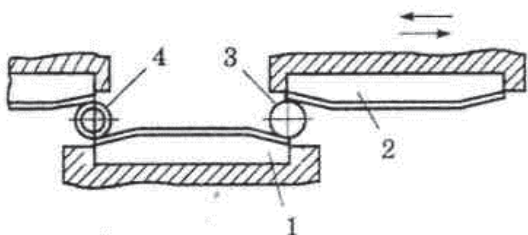


Рис. 11.18. Схема накатывания резьбы плоскими плашками

На рис. 11.18 показана схема накатывания резьбы плоскими плашками. Плашка 1 неподвижна, а подвижная плашка 2 установлена на ползуне, совершающем прямолинейное возвратно-поступательное движение; 3 – деталь в положении до накатывания; 4 – деталь в положении после накатывания.

Рабочая поверхность плашек имеет прямолинейную резьбу (развертку резьбы винта) с профилем и углом подъема, соответствующими профилю и углу подъема накатываемой резьбы. Помещенная между плашками цилиндрическая заготовка в результате перемещения подвижной плашки 2

переходит из первоначального положения в конечное 4 и при этом вследствие деформации металла приобретает резьбовую поверхность. Неподвижная плашка 1 имеет заборную часть, захватывающую заготовку и формирующую профиль резьбы, калибрующую часть и сбег, обеспечивающий плавный выход заготовки из плашек. Подвижная плашка обычно изготавливается без заборной части.

При работе плоскими плашками возникают большие давления, поэтому этим способом нельзя накатывать резьбы на недостаточно жестких или пустотелых заготовках.

Для получения требуемых размеров резьбы диаметр заготовки  $d_3$  должен быть примерно равен среднему диаметру резьбы. Его можно приближенно определить по формуле

$$d_3 = \sqrt{0,5(d_n^2 + d_b^2)},$$

где  $d_3$  – диаметр заготовки, мм;  $d_n$  – наружный диаметр резьбы, мм;  $d_b$  – внутренний диаметр резьбы, мм.

Для накатывания резьбы плоскими плашками применяются специальные станки, имеющие ползун, на котором крепится подвижная плашка. В зависимости от конструкции станка ползун с плашкой совершает возвратно-поступательное движение в вертикальной, горизонтальной или наклонной плоскостях.

Резьбонарезные станки с плоскими плашками изготавливаются автоматически действующими (в редких случаях с ручной установкой заготовки). Заготовка накатывается за один двойной ход ползуна. Длина хода ползуна зависит от длины плашек.

Машинное время накатывания резьбы в минутах определяют по формуле, мин,

$$t_0 = \frac{L}{n} \cdot i,$$

где  $n$  – число двойных ходов ползуна в минуту;  $i$  – число прокатываний заготовки между плашками, как правило, равное единице. (При особо глубокой

резьбе, большом шаге резьбы и т. п. для образования полного профиля резьбы приходится прокатывать заготовку между плашками два раза.)

Плоскими плашками большей частью накатывают болты, винты и – реже – шурупы, обычно получая при этом резьбу 7...8-й степени точности. Используемые для этого станки производят 120...150, а наиболее современные – до 280 двойных ходов в минуту. Более точная резьба накатывается при 30...40 двойных ходах в минуту.

Резьбонакатные автоматы, работающие плоскими плашками, выпускаются нескольких типоразмеров. На этих станках можно накатывать резьбу диаметром 2...25 мм и длиной до 125 мм. Станки имеют автоматические загрузочные устройства и обладают высокой производительностью.

В практике широкое распространение получило накатывание резьбы роликами (круглыми плашками) с радиальной, продольной и тангенциальной подачами (рис. 11.19).

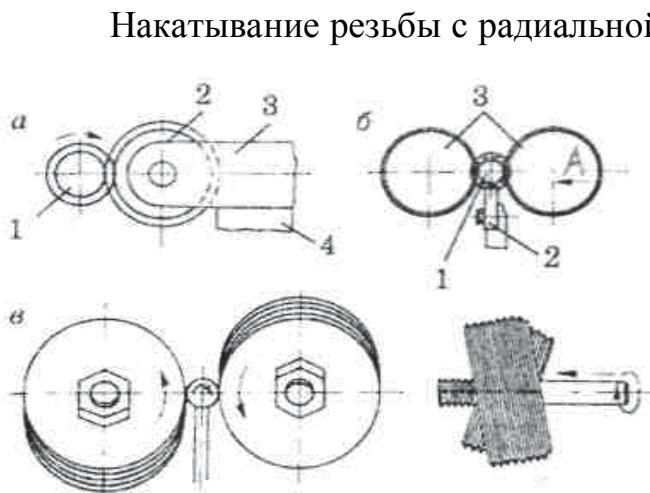


Рис. 11.19. Накатывание резьбы роликами:  
*а* – одним роликом; *б* – двумя роликами с винтовыми витками; *в* – двумя роликами с кольцевыми витками, наклоненными под углом подъема резьбы

Накатывание резьбы с радиальной подачей производится одним, двумя и тремя роликами. Накатывание резьбы диаметром 5...25 мм одним роликом (рис. 11.19, *а*) применяется на токарных и револьверных станках и автоматах. Заготовка *1* зажимается в патроне или цанге станка, а резьбовой ролик *2* – в державке *3*, устанавливаемой в суппорте *4* или в револьверной головке станка.

На ролике *2* резьба направлена противоположно по сравнению с

накатываемой резьбой заготовки, т. е. правая резьба накатывается роликом с левой резьбой, и наоборот. Средний диаметр ролика, число заходов и длина хода резьбы должны быть кратными тем же параметрам накатываемой резьбы.

Накатывание резьбы одним роликом часто вызывает изгиб заготовки из-за односторонней радиальной силы, возникающей при накатывании.

Наибольшее распространение получил способ накатывания резьбы двумя роликами (рис. 11.19, б). Заготовка 1 помещается на направляющей планке 2, располагаемой между роликами 3. Оба ролика вращаются в одну сторону, причем один из роликов получает радиальную подачу (по стрелке А).

Значительно реже накатывают резьбу тремя роликами. Радиальная подача в этом случае придается одновременно всем трем роликам; центрирование заготовки производится самими роликами, причем не требуется никаких опор.

Скорость вращения роликов изменяется в пределах 12...100 м/мин в зависимости от диаметра резьбы, ее точности и материала заготовки. При накатке роликами можно получить резьбу до 5-й степени точности.

Автоматы, накатывающие резьбу роликами, производительнее резьбонакатных автоматов, работающих плоскими плашками.

Накатывание резьбы с продольной подачей осуществляется двумя, тремя и четырьмя роликами, снабженными заборными частями при постоянном межцентровом расстоянии. После предварительной осевой подачи накатывание осуществляется путем самозатягивания заготовки или головки с роликами.

Ролики применяются с винтовыми и кольцевыми витками. В первом случае оси роликов и накатываемой заготовки параллельны, а во втором — наклонены под углом подъема (рис. 11.19, в). Длина накатываемой этим способом резьбы практически не ограничена. Накатывание резьбы с продольной подачей применяется для резьб треугольного, трапецеидального и даже круглого профиля диаметром до 100 мм.

Окружные скорости применяются от 3 до 100 м/мин в зависимости главным образом от материала заготовки.

Схема накатывания резьбы с тангенциальной подачей заготовок показана на рис. 11.20, а. Накатывание резьбы происходит при проходе заготовки между двумя роликами с постоянным межцентровым расстоянием.



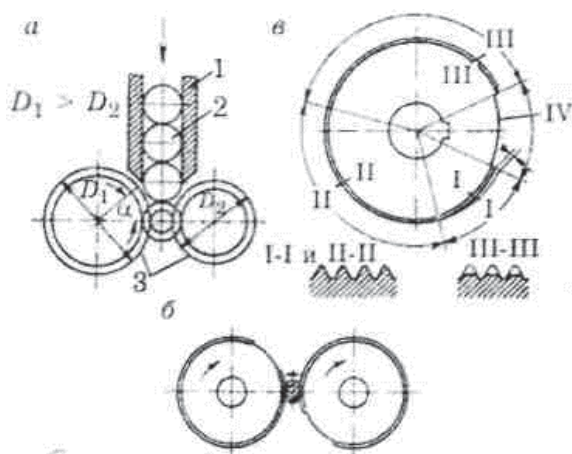


Рис. 11.20. Накатывание резьбы роликами с тангенциальной подачей заготовок:  
1 – лоток; 2 – заготовки; 3 – ролики накатные

Тангенциальная подача заготовок осуществляется непрерывно вследствие разности окружных скоростей роликов разных диаметров ( $D_1 > D_2$ ).

Для самозатягивания заготовок необходимо соблюдение соотношения диаметров роликов накатываемой заготовки, при котором  $f > \operatorname{tg} \alpha$ , где  $f$  – коэффициент трения между роликами и заготовкой;  $\alpha$  – угол захвата заготовки роликами.

Накатные ролики имеют винтовые канавки с числом заходов, равным отношению средних диаметров роликов и накатываемой резьбы.

Для накатывания резьбы с тангенциальной подачей применяются двухшпиндельные резьбонакатные станки. Производительность накатывания резьбы с тангенциальной подачей определяется по формуле, предложенной В. Г. Дейнеко на основании проведенных им исследований:  $A = n(k_1 - k_2)$ , где  $A$  – производительность, шт./мин;  $n$  – частота вращения роликов в минуту;  $k_1$  – число заходов резьбы первого ролика;  $k_2$  – число заходов резьбы второго ролика. Разность числа заходов резьб колеблется от 2 до 10. Кроме обычных круглых применяют еще затылованные ролики (рис. 11.20, б). Каждый такой ролик (рис. 11.20, в) состоит из четырех участков затылованной по верху заборной части I, цилиндрической калибрующей части II, затылованной по профилю освобождающей части III и загрузочно-разгрузочного выреза IV. Ролики вращаются синхронно, и когда вырезы в них находятся друг против друга, накатанная заготовка автоматически выталкивается, а из бункера подается новая заготовка, на которой накатывается резьба за один оборот ролика.

При достаточно большом соотношении между диаметрами накатных роликов и заготовки на окружности ролика можно сделать два или даже три

формообразующих и калибрующих участка с вырезами и накатывать за один оборот роликов не одну, а соответственно две или три заготовки.

Станки, работающие данным способом, называются двух- и трехциклическими. Наиболее производительными станками являются многоциклические резбонакатные автоматы. Две схемы работы таких станков изображены на рис. 11.21.

На вращающейся планшайбе станка (рис.11.21, *а*) установлены четыре сегментные плашки 2 и две вогнутые неподвижные плашки 3. Из бункера заготовки 4 с помощью толкателей автоматически попадают на загрузочные позиции, на которых начинается процесс накатывания. За один оборот планшайбы 1 накатывается резьба на четырех заготовках.

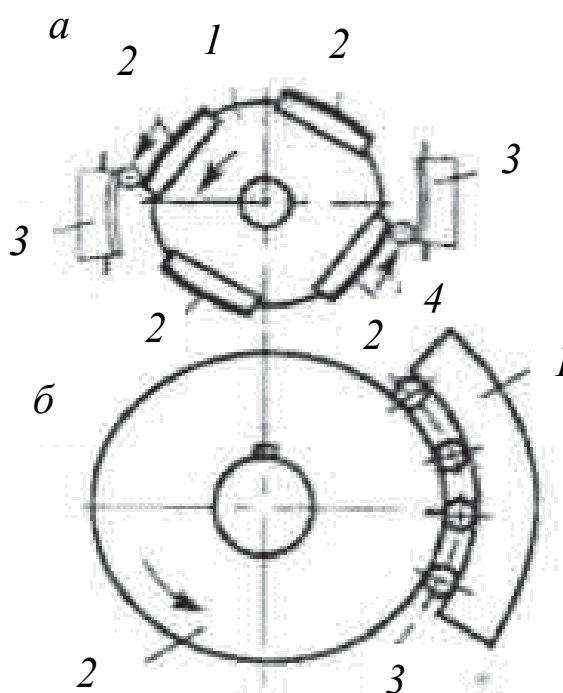


Рис. 11.21. Схемы работы многоциклических резбонакатных станков

На рис. 11.21, *б* показана схема работы многоциклического планетарного резбонакатного автомата с одной неподвижной плашкой 1. Вместо четырех

сегментных плашек здесь используется один резбовой ролик 2. Заготовки 3 подаются периодически, так что в процессе обработки находятся одновременно несколько заготовок. Если установить еще одну неподвижную плашку 1 со своим загрузочным устройством, то производительность станка удвоится.

Точность резьбы, накатываемой на планетарных станках, отвечает 6...7-й степени, а их производительность достигает 300...400 деталей в минуту.

**Накатывание внутренней резьбы.** Накатывание резьбы в отверстиях диаметром 20...100 мм производится накатным роликом, который вводится в отверстие заготовки и вместе с ней вращается, получая одновременно радиальное перемещение, направленное в тело заготовки, и выдавливая при этом профиль резьбы на стенке отверстия.

При накатывании внутренней резьбы в глубоких отверстиях применяется схема с осевой подачей ролика. Для этой цели используется резьбонакатная головка с тремя накатными роликами.

Для накатывания внутренней резьбы диаметром более 100 мм предварительно прорезают резьбу метчиком или фрезеруют на резьбофрезерном станке, а затем накатывают головкой с тремя роликами, которые ввинчиваются в заготовку. В такой головке ролики имеют кольцевые канавки, ось ролика смещена на угол подъема резьбы, а каждый предыдущий ролик смещен относительно последующего на  $1/3$  шага резьбы. Скорость накатывания 15...20 м/мин.

#### 11.10. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ РЕЗЬБЫ

Точность резьбовых поверхностей зависит от точности следующих основных элементов резьбы:

- угла профиля резьбы;
- шага резьбы;
- среднего диаметра резьбы;
- наружного диаметра резьбы;
- внутреннего диаметра резьбы.

Точность всех этих элементов должна быть соблюдена не только по величине, но и относительно их связи между собой.

Обычно контроль резьбы деталей производится предельными резьбовыми кольцами и скобами для наружной резьбы и предельными резьбовыми пробками для внутренней резьбы. Для менее точного определения резьбы применяются резьбовые шаблоны.

Основным критерием является точность резьбы по среднему диаметру. Весьма распространенным инструментом для проверки среднего диаметра является резьбовой микрометр, который имеет специальные вставки (рис. 11.22).

## Micromaster Специальное исполнение

№	Модель	Диапазон измерений	Разрешение
06030034	Micromaster с маленькими измерительными поверхностями	0-30 мм	0,001 мм
06030038	Микрометрическая головка	0-30 мм	0,001 мм
06030069	Micromaster микрометрический глубиномер	0-90 мм	0,001 мм

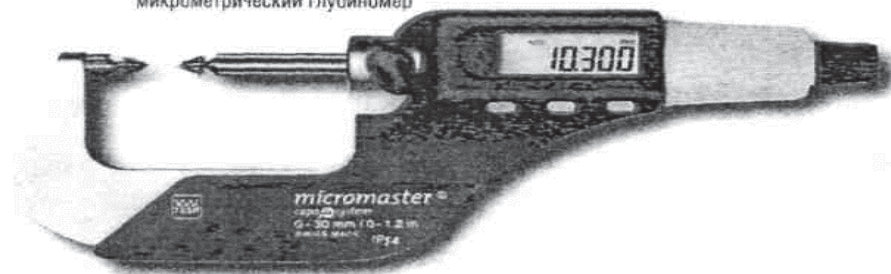


Рис. 11.22. Микрометр со специальными вставками

Для проверки среднего диаметра резьбы применяются также резьбовые скобы с двумя парами мерительных роликов или с мерительными гребенками и приборы, измерение с помощью которых основано на принципе сравнения с эталоном. Такой прибор имеет наконечники, после установки которых по эталону на нуль индикатора измеряют деталь.

Средний диаметр резьбы проверяется также методом трех проволочек (рис. 11.23).

Сущность его состоит в том, что во впадины резьбового вала закладывают три проволочки одинакового известного диаметра  $d$ . Затем микрометром с плоскими наконечниками определяют расстояние  $M$  между внешними поверхностями. Средний диаметр метрической резьбы  $d_{cp}$  определяют по формуле

$$d_{cp} = M - 3d + 0,866s ,$$

где  $d$  – диаметр проволочек, который выполнен с точностью 0,5 мкм;  $s$  – шаг резьбы.

Шаг резьбы измеряют с помощью универсальных и специальных средств. Из универсальных средств используют главным образом микроскопы, перекрестия которых последовательно наводят на правые и левые стороны профиля резьбы.

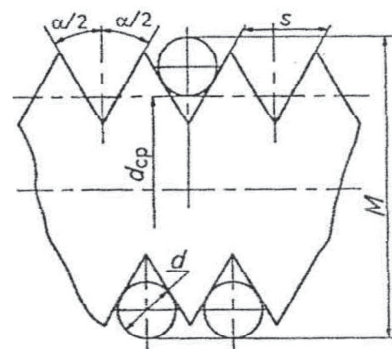


Рис. 11.23. Схема замера среднего диаметра резьбы методом трех проволочек:  $\alpha$  – угол профиля резьбы;  $s$  – шаг резьбы

Специальными приборами (координатно-измерительными машинами) шаг измеряют путем сравнения либо с образцовой деталью, либо со штриховой мерой. В приборе, показанном на рис. 11.24, измерительный 5 и проверяемый 4 винты расположены последовательно (в соответствии с принципом Аббе).

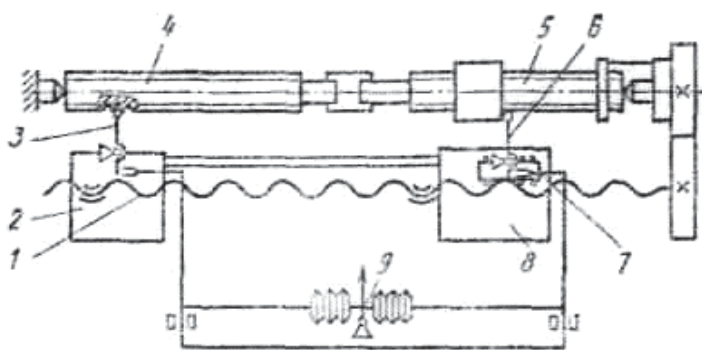


Рис. 11.24. Схема прибора для измерения шага резьбы

Приводной винт 1 одновременно перемещает жестко связанные каретки 2 и 8. Измерительный наконечник 6 расположенный на дополнительной подвижной каретке 7, соприкасается с гайкой, перемещающейся по профилю проверяемой резьбы.

Взаимные смещения базового 3 и измерительного 6 наконечников регистрируются или записываются с помощью сильфонного прибора 9 и самописца.

При разностном методе с проверяемым винтом в двух разных его точках соприкасаются два наконечника одной каретки. Один из наконечников (базовый) связан с корпусом каретки, второй (измерительный) – воздействует на датчик записывающего устройства. После записи первой разности показаний относительное положение наконечников меняют и выполняют новое измерение. Затем обрабатывают полученные графики, воссоздавая математическим путем первообразную реальную функцию винтовой поверхности и определяя по ней погрешности шага. Компьютер позволяет осуществить метод контроля, при котором для математической обработки подаются, например, в дискретной форме взаимосвязанные сигналы с датчика поворота винта и с датчика линейного перемещения измерительной каретки. Одновременно самописец вычерчивает разностный спектр значений функций действительной и теоретической винтовой поверхности в выбранных точках. На подобном принципе построена машина ЭНИМСа, которая снабжена круговым индуктивным и линейным лазерным интерференционным преобразователями. Для винта

длиной 3 м и диаметром до 100 мм скорость измерения составляет 0,1 м/мин. Для количественной оценки погрешностей шага резьбы применяют шагомеры, из них накладные – самые распространенные.

*Внутренний диаметр наружных резьб* измеряют с помощью микроскопов или контактных измерительных приборов с остроконечными вставками.

*Средний диаметр внутренних резьб* измеряют с помощью штихмасов с резьбовыми вставками (рис. 11.25, а), индикаторных приборов (рис. 11.25, б) с раздвижными полупробками или сферическими вставками, а также путем получения оттисков и отливок с последующим их измерением универсальными средствами.

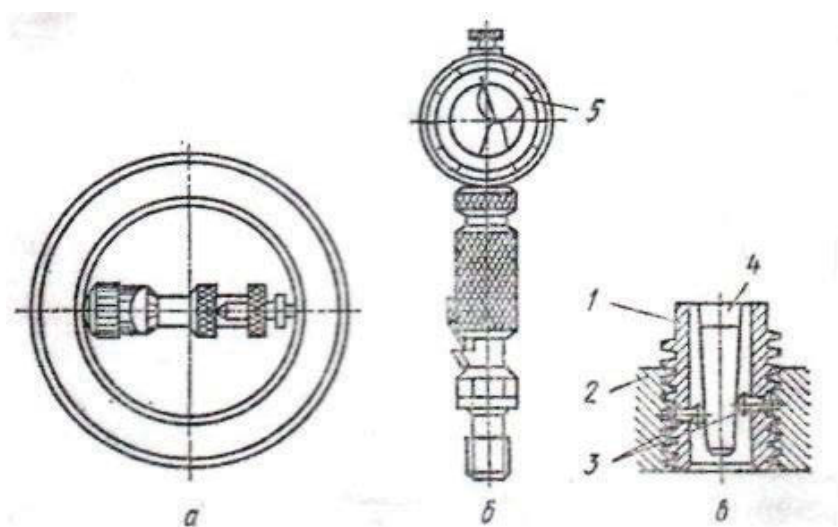


Рис. 11.25. Приборы для измерения среднего диаметра внутренней резьбы

На рис. 11.25, в изображена резьбовая пробка 1, ввинченная с зазором в контролируемую резьбу 2 и снабженная шариковыми вставками 3 и иглой 4 индикатора 5 (рис. 11.25, б). Измерение среднего диаметра шариками или шариковыми наконечниками аналогично измерению проволочками. При этом используют горизонтальные и вертикальные оптиметры, индикаторы и т. п. Все параметры внутренней резьбы можно также измерять с помощью специального микроскопа ИЗК-59 (приспособление к УИМ). Существуют автоматические средства контроля параметров резьб (автомат БВ-538, автомат Львовского политехнического института и др.).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Виды резьб в зависимости от профиля и служебного назначения.
2. Перечислите основные параметры резьбы.
3. Нарезание резьбы резцами.
4. Нарезание резьбы гребенками.
5. Нарезание многозаходных резьб.
6. Вихревой метод получения резьб.
7. Нарезание резьбы плашками.
8. Самораскрывающиеся резьбонарезные головки.
9. Фрезерование резьб.
10. Формирование резьбы метчиками.
11. Шлифование резьбы.
12. Накатывание резьб.
13. Контроль наружных резьб.
14. Контроль внутренних резьб.



## 12. ОБРАБОТКА ШЛИЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ

### 12.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ШЛИЦЕВ

Шлицевые соединения широко применяются в современных машинах для передачи вращательного движения и вращающего момента от одной детали к другой. При этом детали могут быть соединены при помощи неподвижной или подвижной посадки. По сравнению со шпоночными шлицевые соединения имеют следующие преимущества: большую надежность соединения и возможность передачи значительных вращающихся моментов; лучшее обеспечение соосности соединяемых валов и втулок.

Форма шлицев бывает прямобочной (рис. 12.1, а, г, д), треугольной (рис. 12.1, б) и эвольвентной (рис. 12.1, в). Чаще используют прямобочную форму шлицев.

Прямобочных шлицев на валу может быть 6, 8, 10, 12, 16, 20, шлицев треугольного профиля – 36 и 48.

По характеру центрирования вала и втулки различают центрирование по внутреннему диаметру (рис. 12.1, д); центрирование по наружному диаметру (рис. 12.1, г) и центрирование по боковым сторонам шлицев (рис. 12.1, а, б, в). Из рисунка видно, что у шлицевых деталей поверхности (элементы) могут быть центрирующими и нецентрирующими.

Между нецентрирующими поверхностями вала и втулки имеются зазоры  $f$  и  $f_1$ , и эти поверхности изготавливают менее точно. Так, центрирующие поверхности имеют 6...9-й квалитет точности, а нецентрирующие поверхности – 9...12-й квалитет.

Применительно к прямобочным шлицам шире распространено центрирование по наружному диаметру  $D$  как более технологичное.

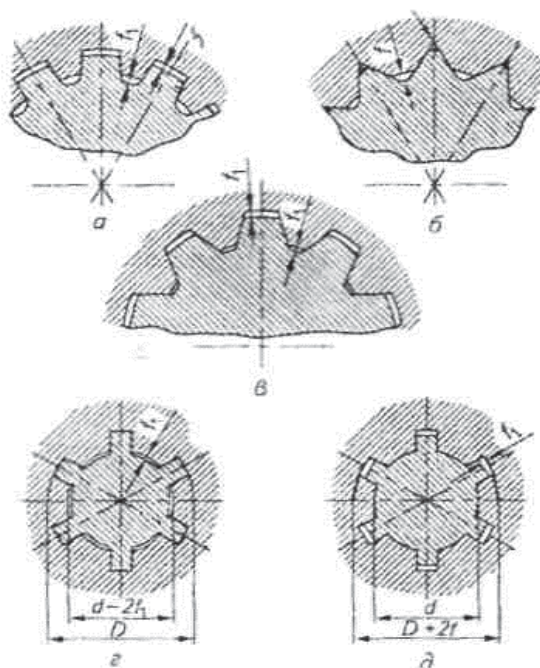


Рис. 12.1. Шлицевые соединения



Центрирование по внутреннему диаметру  $d$  (см. рис. 12.1,  $\partial$ ) применяют редко, например в тех случаях, когда втулка имеет закаленную сердцевину ( $HRC > 40 \dots 45$ ).

Центрирование по боковым сторонам (см. рис. 12.1,  $a$ ) применяют также редко. Примером использования этого вида центрирования служат карданные соединения заднего моста автомобиля.

У треугольных и эвольвентных шлицев центрирование втулки на валу обычно происходит по боковым сторонам (см. рис. 12.1,  $b$ ,  $в$ ).

## 12.2. ОБРАБОТКА ШЛИЦЕВЫХ ВАЛОВ И ВТУЛОК ПРИ ЦЕНТРИРОВАНИИ ПО ВНУТРЕННЕМУ ДИАМЕТРУ

Обработку вала производят в такой последовательности: сначала вал обрабатывают на токарном станке за одну или две операции, затем на валу образуют шлицевый профиль по различным схемам в зависимости от масштаба производства.

В индивидуальном и мелкосерийном производстве возможны два варианта технологии: боковые поверхности шлицев вначале обрабатывают двумя дисковыми фрезами (рис. 12.2,  $a$ ), а затем внутренний диаметр впадины – радиусной фасонной фрезой (рис. 12.2,  $b$ ); полный профиль впадины нарезают фасонной фрезой (рис. 12.2,  $в$ ).

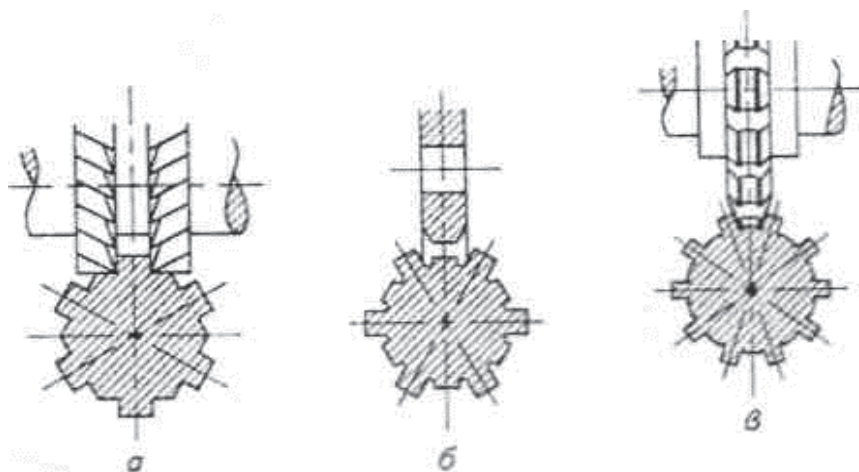


Рис. 12.2. Схемы образования шлицев на валах:  
 $a$  – двумя дисковыми фрезами;  $b$  – радиусной фасонной фрезой;  $в$  – фасонной фрезой

В общем варианте шлицы получают на горизонтально-фрезерных станках с использованием делительной головки. Обработку фасонной фрезой (см. рис. 12.2, в) применяют реже из-за сложности изготовления фрезы.

В массовом и серийном производстве шлицевый профиль вала нарезают на шлицефрезерных и зубофрезерных станках червячными фрезами. При образовании прямобочных шлицев червячные фрезы имеют особый профиль с «усиками» (рис. 12.3) и без «усиков». Фрезы с «усиками» применяют при изготовлении валов с центрированием по внутреннему диаметру, когда производят шлифование профиля впадины. «Усики» образуют канавки, которые предохраняют края шлифовального круга от быстрого разрушения, т. е. повышают стойкость круга. Фрезы без «усиков» используют при нарезании шлицев на валах с центрированием по наружному диаметру; в этом случае внутренний профиль канавки шлицевого вала не шлифуют.

Принципиальные схемы образования шлицев на валах червячными фрезами на шлицефрезерных и зубофрезерных станках сходны между собой. Основное отличие заключается в том, что деталь (вид) на шлицефрезерном станке располагается горизонтально, а на зубофрезерном – вертикально. Шлицефрезерные станки по сравнению с зубофрезерными позволяют нарезать шлицы большей длины.

Фрезерование шлицевых валиков диаметром до 30 мм производят за один проход, а валиков большего диаметра – за два прохода (черновой и чистовой).

Короткие эвольвентные шлицы на валиках нарезают также на зубодолбежных станках долбяками аналогично нарезанию зубьев цилиндрических зубчатых колес. В некоторых случаях, когда к коротким шлицам валика примыкает буртик или ступень

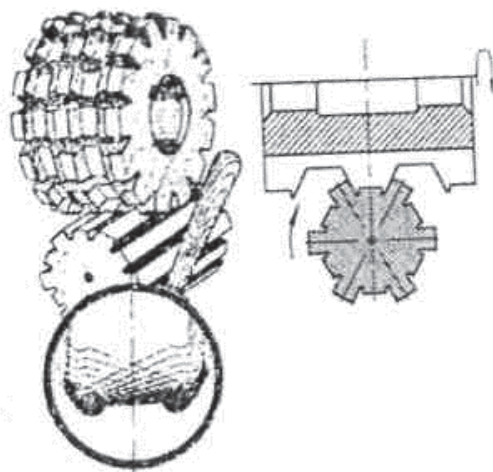


Рис. 12.3. Нарезание шлицев на валу червячной фрезой с «усиками»

большого диаметра, зубофрезерование может быть вообще неприменимо и единственным способом нарезания остается зубодолбление.

Термическая обработка зависит от материала и технических требований на шлицевые валы: цементация с последующей закалкой и отпуском, улучшение и др.

Шлифование центров применяют при повышенных требованиях к точности шлицевых валов (рис. 12.4). Его производят на сверлильных, шлифовальных станках.

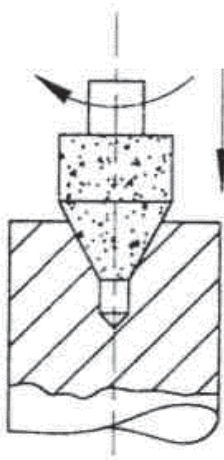


Рис. 12.4. Схема шлифования центрального гнезда

Шлифование профиля шлицев выполняют по различным схемам в зависимости от масштаба производства. В массовом и серийном производстве шлифование ведут на специальных или специализированных станках фасонным кругом, заправленным по профилю впадины (рис. 12.5, а). После шлифования одной впадины происходит делительный поворот и шлифование следующей впадины и т. д. В индивидуальном и мелкосерийном производстве профиль впадин шлифуют на плоскошлифовальных станках (рис. 12.5, б) за две операции (перехода). На операции I вначале последовательно шлифуют один бок у всех шлицев, затем переустанавливают круг по отношению к детали, изменяют упор у детали и последовательно шлифуют второй бок у всех шлицев. На операции II последовательно радиусным кругом шлифуют внутренний диаметр шлицевого вала в каждой впадине. Шлифование шлицев

на плоскошлифовальном станке менее производительно, чем на специализированных шлицешлифовальных станках. Припуск на шлифование составляет  $0,1 \dots 0,2$  мм на сторону.

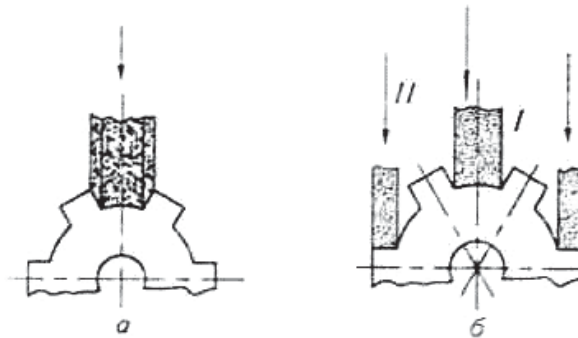


Рис. 12.5. Схемы шлифования шлицев: *а* – фасонным кругом на шлифовальном станке; *б* – плоским и радиусным кругами на плоскошлифовальном станке

Обработку втулки производят в такой последовательности: предварительно втулку обрабатывают на токарном станке, включая предварительную обработку отверстия и подрезку торца. Затем отверстие и шлицы протягивают. После протягивания все наружные поверхности или только те, которые должны быть соосны или перпендикулярны шлицевому отверстию, подвергают чистовому точению на шлицевой оправке.

Закljučают процесс обработки втулки термическая обработка в зависимости от марки материала и технических условий на деталь, а также шлифование внутреннего диаметра отверстия на внутришлифовальном станке.

### 12.3. ОБРАБОТКА ШЛИЦЕВЫХ ВАЛОВ И ВТУЛОК ПРИ ЦЕНТРИРОВАНИИ ПО НАРУЖНОМУ ДИАМЕТРУ

Обработку вала до операции шлифования профиля шлицев производят так же, как и обработку вала при центрировании по внутреннему диаметру. Вместо операции шлифования профиля шлицев в этом случае вводят операцию круглого шлифования наружного диаметра шлицев вала.

Обработку втулки до термической обработки производят аналогично обработке втулки при центрировании по внутреннему диаметру. Термическая обработка в данном случае должна быть такой, чтобы внутренняя поверхность

штулки оставалась мягкой. Это может быть закалка наружных поверхностей штулки ТВЧ или местная цементация наружных поверхностей (внутренние поверхности штулки предохраняют от цементации обмазкой или гальваническим омеднением с последующей закалкой и отпуском). В процессе такой поверхностной термической обработки происходит усадка отверстия штулки (примерно 0,1 мм на диаметр), поэтому после термической обработки вводят еще операции калибровки шлицевого отверстия протягиванием на протяжном станке или прошиванием на прессе. Калибровке подвергают боковые и наружные поверхности шлицев.

#### **Сопоставление видов центрирования шлицевых деталей.**

Центрирование шлицевых деталей по наружному диаметру по сравнению с центрированием по внутреннему диаметру более технологично. Оно уменьшает трудоемкость изготовления шлицевого вала за счет замены операции шлифования профиля шлицев операцией наружного круглого шлифования; позволяет использовать более простое и универсальное оборудование для шлифования вала – круглошлифовальные станки вместо специализированных шлицешлифовальных станков.

Червячные (дисковые) фрезы для нарезания шлицев на валах при центрировании по наружному диаметру не имеют «усиков», что облегчает их изготовление.

Однако центрирование по наружному диаметру нельзя использовать, когда внутренняя поверхность штулки термически обработана и имеет высокую твердость.

### **12.4. КОНТРОЛЬ ШЛИЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

При контроле вала используют проходные и непроходные скобы или приборы для контроля диаметров вала и ширины шлицев; комплексный проходной калибр (шлицевая штулка) для определения правильности расположения шлицев (рис. 12.6).

При контроле штулки используют проходные и непроходные пробки для контроля диаметров отверстий и ширины шлицевых канавок; комплексный проходной калибр (шлицевой вал).

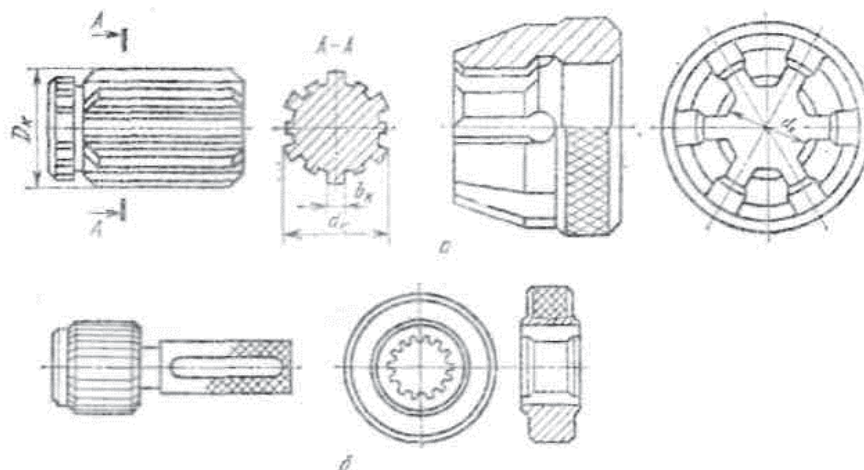


Рис. 12.6. Комплексные шлицевые калибры для контроля элементов прямобочных (а) и эвольвентных (б) соединений

### Контрольные вопросы и задания

1. В чем преимущества шлицевых соединений?
2. Какие существуют формы шлицев и виды центрирования вала и втулки?
3. Перечислите операции при обработке шлицевых валов и втулок при центрировании по внутреннему и наружному диаметру.
4. Сопоставьте виды центрирования.
5. Как контролируют шлицевые детали?

## 13. ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

### 13.1. МАТЕРИАЛЫ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ КОЛЕС.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

В машиностроении для изготовления зубчатых колес применяют цементуемые стали марок МСт2, МСт3, 10, 15, 20Х, 18ХГТ, 12ХНЗА и другие (глубина цементации примерно 1,2 мм, твердость поверхности зубьев после цементации и термообработки HRC 56...62), модифицированный чугун СЧ35, редко – закаливаемые стали 40, 45. Для уменьшения коробления при окончательной термообработке штамповки перед механической обработкой нормализуют.

Заготовки для зубчатых колес из стали в серийном производстве выполняют в подкладных штампах на ковочных молотках; в крупносерийном и массовом производстве – на штамповочных молотах в закрытых штампах, а также на горизонтально-ковочных машинах в разъемных штампах (при диаметре заготовки до 175 мм).

На штамповках можно получить предварительно прошитое отверстие при его диаметре не менее 25 мм и длине не менее двух диаметров.

Всего существует 12 степеней точности зубчатых колес. В зубчатых колесах с зубьями 7...8-й степени точности отверстие имеет 6...7-й квалитет точности, а при 9-й степени точности зубьев – 9-й квалитет.

Наружный диаметр зубчатых колес имеет точность в пределах 11...13-го квалитета, а при использовании в качестве измерительного инструмента штангензубомера (что характерно для единичного и мелкосерийного производства) – 9-й квалитет. Повышение точности наружного диаметра зубчатых колес при использовании штангензубомера необходимо для повышения точности измерений штангензубомером, который базируется на наружной поверхности зубчатого колеса.

### 13.2. ОБРАЗОВАНИЕ ЗУБЬЕВ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕСАХ

Токарную обработку заготовок зубчатых колес с отверстием обычно производят по второй схеме обработки втулок (см. главу 10). Для достижения концентричности наружной и внутренней цилиндрических поверхностей и выдерживания перпендикулярности оси отверстия торцу окончательную (чистовую) токарную обработку колес часто производят на оправке. Токарную обработку валов-шестерен производят при точении в центрах (см. главу 9). Зубья на цилиндрических колесах получают нарезанием и накатыванием, причем нарезание зубьев более распространено. В свою очередь способы нарезания зубьев разделяются на А – копирование и Б – обкатывание.

**А. Способы копирования.** К ним относятся нарезание дисковой модульной фрезой, пальцевой фрезой и зубодолбежными головками на специальных станках.

*Нарезание зубьев дисковой модульной фрезой* (рис. 13.1, а) применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства с использованием горизонтально-фрезерного станка и делительной головки. Теоретически профиль дисковой модульной фрезы должен соответствовать профилю впадины зуба. Поскольку профиль впадины зуба зависит от числа зубьев, то фрезы различают еще по номерам. Причем каждая фреза предназначена для нарезания зубчатых колес с определенным числом зубьев  $z$ . Имеются комплекты фрез 8, 15 и 26 шт. При этом чем больше номеров фрез в комплекте, тем выше точность зубьев нарезаемого колеса. Каждый комплект предназначен для нарезания колес с определенным числом зубьев. Набор из 8 фрез применяют для нарезания колес с модулем  $m \leq 8$ ; набор из 15 фрез – при  $m \geq 8$ ; набор из 26 фрез – при нарезании колес повышенной точности.

При наборе из 8 фрез применяют: № 1 – для  $Z = 12 \dots 13$ ; № 2 – для  $Z = 14 \dots 16$ ; № 3 – для  $Z = 17 \dots 20$ ; № 4 – для  $Z = 21 \dots 25$ ; № 5 – для  $Z = 26 \dots 34$ ; № 6 – для  $Z = 35 \dots 54$ ; № 7 – для  $Z = 55 - 134$ ; № 8 – для  $Z \geq 135$ . Дисковой модульной фрезой можно нарезать также зубья косозубых зубчатых колес.



В этом случае номер фрезы определяют по приведенному числу зубьев колеса, которое рассчитывают по формуле

$$Z_{\text{пр}} = \frac{Z}{\cos^3 \beta},$$

где  $Z$  – число зубьев;  $\beta$  – угол наклона зубьев нарезаемого колеса, град.

Нарезание зубьев дисковой модульной фрезой обеспечивает 9...10-ю степень точности. Недостаток способа – низкая производительность.

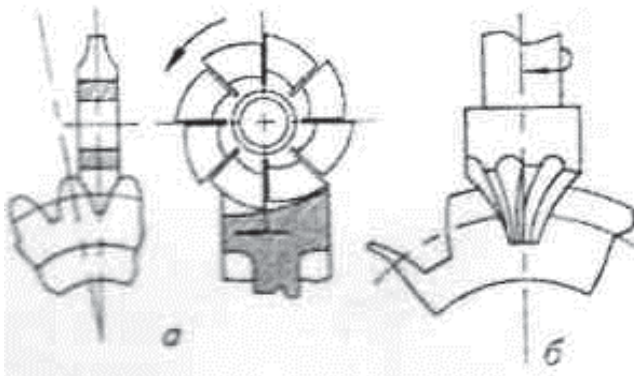


Рис. 13.1. Схемы нарезания зубьев:  
а – дисковой модульной фрезой;  
б – пальцевой фрезой

*Нарезание зубьев пальцевой фрезой* (рис. 13.1, б) производят на вертикально-фрезерных станках с использованием делительной головки при модулях колес  $m > 10$  цилиндрических и шевронных колес. Зубья очень крупных модулей начерно нарезают двугранной пальцевой фрезой или

последовательно двумя угловыми пальцевыми фрезами.

Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес дисковыми модульными фрезами, а также пальцевыми фрезами применяется преимущественно в единичном и мелкосерийном производстве при отсутствии специальных зуборезных станков, так как такой способ нарезания дает сравнительно малую производительность и точность 9...11-й степени.

*Нарезание зубьев зубодолбежными многолезцовыми головками на специальных станках* применяют в условиях массового производства.

**Б. Способы обкатки.** К ним относятся нарезание зубьев колес червячной фрезой и нарезание долбяком. Эти способы применяют при изготовлении колес в серийном и массовом производстве.

Нарезание зубьев колес червячной фрезой (рис. 13.2) производят на зуборезных станках. Фреза имеет вращательное движение и движение подачи, заготовка тоже вращается. Причем вращение фрезы и заготовки строго увязаны между собой как вращение червяка (червячная фреза) и зубчатого колеса (заготовка).

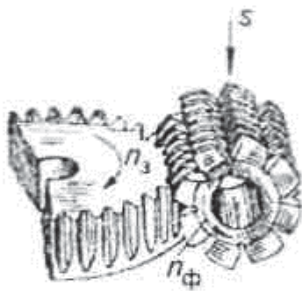


Рис. 13.2. Схема нарезания зубьев колеса червячной фрезой

При нарезании прямозубых колес

$$\frac{n_z}{n_\phi} = \frac{k}{Z},$$

где  $n_z$  – частота вращения заготовки,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $n_\phi$  – частота вращения фрезы,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $k$  – число заходов фрезы (часто  $k = 1$ );  $Z$  – число зубьев нарезаемого колеса.

Червячной фрезой нарезают как прямозубые, так и косозубые зубчатые колеса.

При модулях  $m < 3$  зубья нарезают за один проход, а при  $m > 3$  – за два прохода. За первый проход глубину резания принимают равной  $2/3 \dots 3/4$  высоты зуба, т. е.  $(2/3 \dots 3/4)2,2m$ , где  $m$  – модуль.

Точность зубофрезерования червячными фрезами – 7...9-я степень, шероховатость обработанной поверхности – 5-й класс.

Для повышения производительности зубофрезерования применяют червячные фрезы из более производительных быстрорежущих сталей, допускающих высокие скорости резания, оснащают фрезы пластинками твердых сплавов и применяют многозаходные фрезы увеличенных диаметров. Так, применение двухзаходной фрезы диаметром, увеличенным в 2 раза, повышает производительность обработки также вдвое.

Нарезание зубьев колес долбяками (рис. 13.3) осуществляют на зубодолбежных станках. Заготовка колеса и долбяк совершают вращательные движения, увязанные между собой как вращение двух сопрягаемых зубчатых колес.

$$\frac{n_d}{n_z} = \frac{Z}{Z_d},$$

где  $n_d$  – частота вращения долбяка,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $n_z$  – частота вращения заготовки,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $Z$  – число зубьев нарезаемого колеса;  $Z_d$  – число зубьев долбяка.

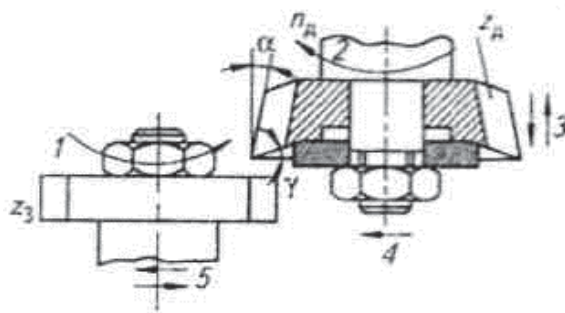


Рис. 13.3. Схема нарезания зубьев долбяком

Долбяк совершает возвратно-поступательное движение 3, которое определяет скорость резания. В начальный период обкатки долбяк совершает движение 4 для врезания на определенную глубину резания. Во время холостого хода долбяка заготовка немного отходит (движение 5) от долбяка для исключения трения задних поверхностей долбяка о заготовку. В начале рабочего хода долбяка вниз заготовка возвращается в исходное положение.

Путем настройки станка можно нарезать зубья за одну, две или три обкатки. В первом случае заготовка за период обкатки делает  $1^{1/3}$  оборота ( $1/3$  оборота на врезание долбяка, 1 оборот на обкатку). Во втором случае заготовка за период обработки делает  $2^{2/3}$  оборота (2 оборота на обкатку и два врезания на  $1/3$  оборота каждый раз). В третьем случае заготовка за период обработки делает 4 оборота (3 оборота на обкатку и три врезания по  $1/3$  оборота каждый раз). Стальные колеса при модулях  $m < 2$ ,  $m = 2 \dots 4$ ,  $m > 4$  нарезают за одну, две и три обкатки соответственно.

На зубодолбежных станках можно нарезать и колеса со спиральным (косым) зубом. В этом случае станок оснащают специальным копиром, который придает долбяку винтовое движение вниз и вверх (вместо возвратно-поступательного), и применяют специальные долбки с косыми зубьями.

Точность колес при их нарезании долбьяками – 6...8-я степень, шероховатость обработанной поверхности – 6-й класс ( $Ra_{2,5}$ ).

**Сравнение нарезания зубьев колес червячными фрезами и долбьяками.** Основные конкурирующие способы нарезания зубьев колес – нарезание червячными фрезами и долбьяками. Сравним эти способы по производительности, точности, шероховатости обработанной поверхности, возможности применения в зависимости от конструкции колеса.

При модулях  $m < 2,5$  зубодолбление производительнее зубофрезерования. При модулях  $m = 2,5 \dots 5$  производительность зубофрезерования и зубодолбления примерно одинакова. При модулях  $m > 5$  зубофрезерование производительнее зубодолбления.

Зубодолбление точнее зубофрезерования (примерно на одну степень) и обеспечивает более низкую шероховатость поверхности (примерно на один класс выше).

В некоторых случаях зубодолбление – единственно возможный способ нарезания зубьев. Так, внутренние зубья (рис. 13.4, а) и зубья малых шестерен блока (рис. 13.4, б) можно нарезать только зубодолблением. При нарезании внутренних зубьев необходимо

выдержать определенное соотношение между числом зубьев заготовки  $Z_3$  и долбяка  $Z_d$ :

$$Z_3 - Z_d = 14 \dots 18.$$

При этом условии срезания кромок у зубьев колеса не происходит.

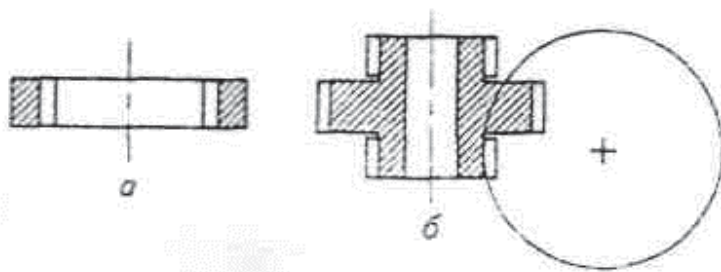


Рис. 13.4. Некоторые разновидности зубчатых колес:  
а – с внутренними зубьями; б – блок зубчатых колес

**Накатывание зубьев цилиндрических колес** по сравнению с нарезанием обеспечивает повышение производительности (примерно в 40 раз) и износостойкости накатанных зубчатых колес, снижение расхода металла. Способом накатки можно накатывать цилиндрические колеса с прямыми, спиральными и шевронными зубьями. Накатку производят на специальных станках зубчатыми колесами, изготовленными из быстрорежущей стали. В процессе накатки заготовки нагреваются ТВЧ. Индуктор и инструменты охлаждаются водой. При накатке инструментам *1* (рис. 13.5) придается вращательное движение. Накатываемые заготовки имеют движение подачи вверх и, проходя внутри индуктора ТВЧ *2*, нагреваются с поверхности до необходимой температуры. Для правильности накатки (зацепления) сверху заготовок *3* находится эталонное колесо *4*.

После накатки зубчатые колеса подаются в электропечь для постепенного охлаждения (отжига). Первая операция механической обработки заключается в подрезке торца и обработке отверстия. В качестве технологических баз используют поверхности зубьев. Деталь зажимают в специальном патроне, в котором роль кулачков выполняют эталонные зубчатые колеса.

На рис. 13.6 приведена схема накатки цилиндрических колес шевронным зубом. Инструменты *1* имеют радиальную подачу и приводят во вращение накатываемую заготовку *2*, цилиндрическую поверхность которой нагревают индуктором *3*.

Точность накатанных зубчатых колес – 9...10-я степень; при этом накатники и синхронизирующие шестерни должны быть изготовлены по 6-й степени точности.

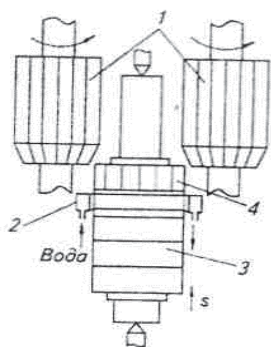


Рис. 13.5. Схема накатки зубьев цилиндрических колес

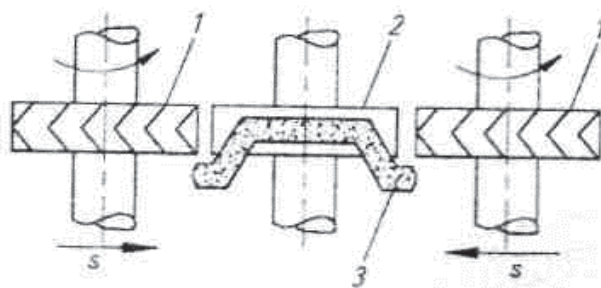


Рис. 13.6. Схема накатки зубьев шевронного колеса

К недостаткам процесса относится то, что станы для накатки зубьев имеют большие габариты и массу (10...35 т), мощные двигатели (20...100 кВт) и выпускаются для узкой номенклатуры зубчатых колес. Накатывание зубьев колес находит применение в массовом производстве.

Закругление зубьев делают на колесах, которые периодически включают и выключают (например, зубчатые колеса коробки скоростей автомобилей и тракторов). Назначение закругления зубьев – облегчение ввода в зацепление зубчатых колес.

На рис. 13.7 приведены схемы закругления зубьев пальцевой и пустотелой фрезами. Пальцевая фасонная фреза (рис. 13.7, а) вращается около вертикальной оси и одновременно перемещается возвратно-поступательно по дуге, огибая кромку зуба обрабатываемого колеса. После обработки одного зуба зубчатое колесо отводят в осевом направлении от фрезы, поворачивают около оси на один зуб и подводят к фрезе.

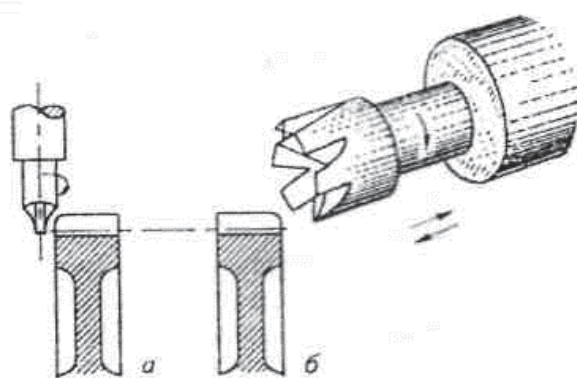


Рис. 13.7. Схемы закругления зубьев цилиндрических зубчатых колес:  
а – пальцевой фрезой; б – пустотелой фрезой

При закруглении зубьев пустотелой фрезой (рис. 13.7, б), имеющей зубья на внутренней конической поверхности, ось фрезы расположена под углом к оси детали. Фреза кроме вращательного движения совершает возвратно-поступательное движение вдоль своей оси. Зубья фрезы входят в соприкосновение с противоположными профилями двух смежных зубьев и закругляют их торцы. При отводе фрезы колесо автоматически поворачивается на один зуб, после чего следует закругление следующих зубьев. Продолжительность обработки одного зуба в обоих случаях 1...3 с.



### 13.3. СПОСОБЫ ЧИСТОВОЙ ОТДЕЛКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

**Отделочные операции до термической обработки.** К ним относятся шевингование и прикатка.

*Шевингование* осуществляют на шевинговальных станках; инструментом служит шевер – специальное зубчатое колесо из инструментальной стали с канавками на зубьях, которые образуют режущие кромки (рис. 13.8). Шевер имеет принудительное вращательное движение, которое передает зубчатому колесу, установленному на оправке в центрах. Оси шевера и зубчатого колеса находятся в разных плоскостях, так как при обработке прямозубого колеса применяют косозубый шевер, а при обработке косозубого колеса – прямозубый шевер. Зубчатое колесо со столом имеет продольную подачу ( $S_{пр} = 0,15 \dots 0,4$  мм/ход). Припуск на шевингование составляет  $0,03 \dots 0,06$  мм на сторону. Шевингование обеспечивает  $5 \dots 7$ -ю степень точности и 9-й класс шероховатости поверхности.

*Прикатка* (рис. 13.9) представляет собой процесс обработки поверхностей зубьев колеса 2 при помощи эталонных зубчатых колес 1 и 3, одно из которых прижимается к обрабатываемому колесу. Ее применяют при модулях  $m < 3$ , она обеспечивает 9-й класс шероховатости поверхности. Прикатка производительнее шевингования в 4 – 5 раз.

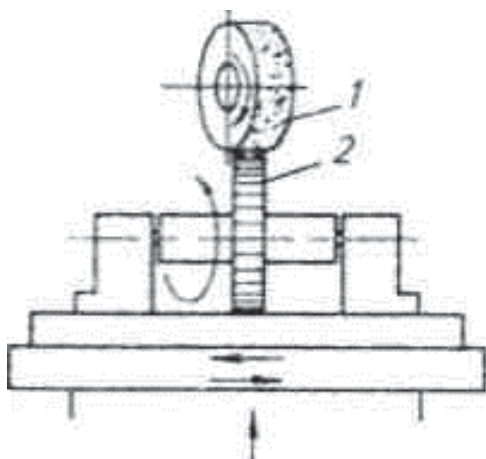


Рис. 13.8. Схема процесса шевингования  
зубьев колеса:

1 – шевер; 2 – заготовка колеса

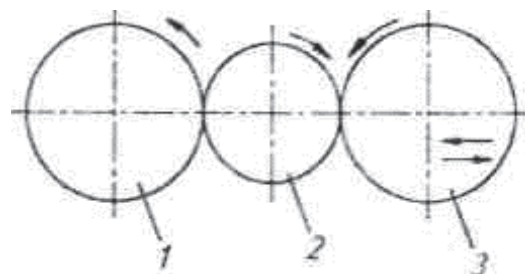


Рис. 13.9. Схема прикатки зубьев колеса

**Окончательная термическая обработка зубчатых колес.** Зубчатые колеса из цементуемых сталей подвергают цементации, закалке и отпуску. Цементация может быть в твердом карбюризаторе и газовая.

Цементацию в твердом карбюризаторе применяют в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Она характеризуется трудоемкостью и длительностью (выдерживание ящиков с деталями и карбюризатором при температуре 900...950 °С примерно 16...18 ч).

На заводах машиностроения применяют газовую цементацию в электрических шахтных печах. Газ для цементации получают в результате испарения керосина или бензола, вводимого в печь в виде капель. Газовая цементация примерно в 2 раза сокращает продолжительность процесса по сравнению с цементацией в твердом карбюризаторе. При нагреве ТВЧ время цементации сокращается до 30...40 мин с получением слоя 0,8...1,0 мм.

Иногда отдельные поверхности колеса (например, отверстие) по техническим условиям должны быть мягкими (не должны подвергаться закалке). В данном случае эти поверхности предохраняют от цементации специальными обмазками (глина, песок, жидкое стекло) или гальваническим путем создают на поверхности тонкое (0,02 мм) медное покрытие.

Следует иметь в виду, что цементация и закалка вызывают коробление и снижают точность зубчатых колес на 1...1,5 степени. Использование ТВЧ для закалки зубьев позволяет сохранить точность зубчатого колеса, но при этом возникает усадка отверстия (на 0,04...0,1 мм на диаметр), которое устраняют калибровкой (протяжкой, разверткой). Для повышения точности зубчатых колес применяют закалку в закалочных штампах.

**Отделочные операции после термообработки.** При высоких требованиях к точности после термической обработки (часто поверхность зубьев HRC 56...62) у зубчатых колес шлифуют отверстие, а затем шлифуют или притирают зубья.

*Шлифование отверстия* – ответственная операция, которая должна также обеспечить правильное расположение зубьев относительно отверстия. Для



этого колесо базируют по зубьям, закладывая во впадины между ними ролики (из роликоподшипников), и зажимают его через ролики при помощи трехкулачкового или мембранного патрона.

*Шлифование зубьев* можно производить по нескольким схемам. По первой схеме (рис. 13.10, а) круг заправляют по профилю впадины и шлифуют каждую впадину отдельно, затем следует делительный поворот колеса и шлифование следующей впадины. Круг правят особым копировальным устройством при помощи трех алмазов. По второй схеме (рис. 13.10, б) шлифовальный круг заправляют в виде зуба рейки и обкатывают колесо по рейке (придавая ему увязанные между собой вращательное и поступательное движения). В процессе такой обкатки происходит шлифование одной впадины, затем следует обкатка колеса в обратном направлении, выход колеса из зацепления с кругом и делительный поворот заготовки для шлифования следующей впадины; станок выключают после шлифования всех впадин.

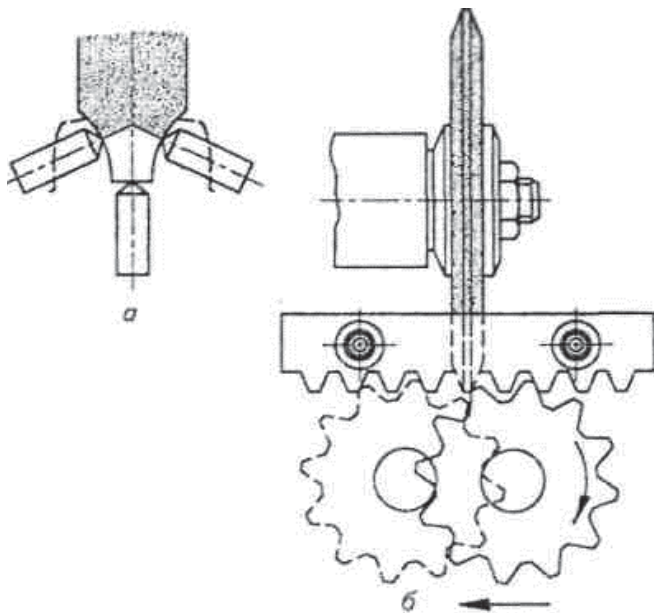


Рис. 13.10. Зубошлифование:  
а – заправка тремя алмазами  
профиля шлифовального круга,  
работающего методом копирования;  
б – шлифование зубьев колеса дисковым  
кругом

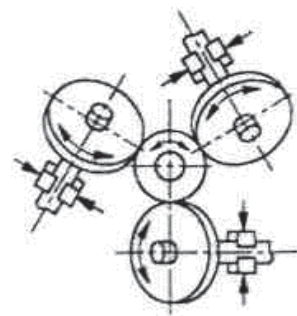


Рис. 13.11. Схема притирки  
зубьев колеса

Существует способ шлифования зубьев абразивным червяком по схеме, сходной с фрезерованием зубьев червячной фрезой (см. рис. 13.2). Шлифование зубьев обеспечивает 7-ю степень точности.

*Притирка зубьев* колес осуществляют по схеме, приведенной на рис. 13.11. Притирами служат зубчатые колеса из серого чугуна, на поверхность которых наносят мелкозернистую абразивную пасту. Оси притиров не параллельны оси обрабатываемого зубчатого колеса. Один притир часто устанавливают параллельно оси колеса. В этом случае один притир будет прямозубым колесом, другой – косозубым правым и третий – косозубым левым. Давление на боковые поверхности зубьев обрабатываемого колеса создается гидравлическими тормозами, действующими на шпиндели притиров. Заготовка колеса, расположенная между притирами, получает вращательное (в одну и другую сторону) и возвратно-поступательное движения. Частота вращения колеса  $150 \dots 300 \text{ мин}^{-1}$ , число двойных ходов в минуту  $50 \dots 80$ . Продолжительность притирки колес  $2 \dots 4$  мин. Стойкость притиров порядка 60 ч. Точность притертых зубьев – 7-я степень.

#### 13.4. НАРЕЗАНИЕ ШЕВРОННЫХ КОЛЕС, ЗВЕЗДОЧЕК И ХРАПОВЫХ КОЛЕС

**Нарезание шевронных зубчатых колес.** Шевронные зубчатые колеса бывают двух видов (рис. 13.12). Колеса вида *I* нарезают как обычные зубчатые колеса (на универсально-горизонтально-фрезерном станке дисковой модульной фрезой, на зубофрезерном станке – червячной фрезой, на зубодолбежном станке – долбяком). Колеса вида *II* нарезают на специальных станках обкаткой двумя долбяками (рис. 13.13, *а*), совершающими возвратно-поступательное движение долбяка, и на вертикально-фрезерном станке пальцевой фрезой (рис. 13.13, *б*) с использованием делительной головки. При нарезании пальцевой фрезой заготовка имеет вращательное движение и движение подачи (которое определяет угол наклона зубьев). После нарезания первой половины шевронной впадины меняют направление вращения заготовки колеса на обратное и нарезают вторую часть впадины.

**Обработка звездочек и храповых колес.** Цепные передачи в машиностроении широко распространены. Важнейшая деталь цепных передач – звездочка. Звездочки сельхозмашин, передающие небольшие нагрузки при небольших скоростях, отливают из чугуна с готовыми зубьями. При безударной нагрузке и скоростях 1...3 м/с звездочки также делают чугунными, но зубья на них получают механической обработкой. При более высоких нагрузках и скоростях звездочки изготавливают из среднеуглеродистых сталей с термической обработкой профилей зубьев до твердости HRC 40...50, и зубья на них получают механической обработкой.

Механическая обработка звездочек до нарезания зубьев аналогична обработке зубчатых колес.

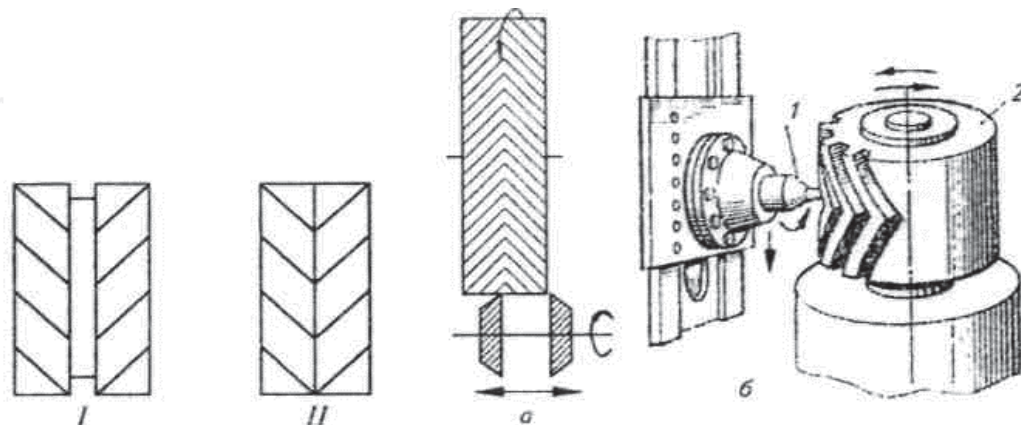


Рис. 13.12. Виды шевронных зубчатых колес

Рис. 13.13. Схема нарезания шевронных зубчатых колес:

*a* – на специальных зубодолбежных станках двумя долбьями; *б* – на вертикально-фрезерном станке пальцевой фрезой; *1* – шпиндель; *2* – заготовка

В условиях единичного и мелкосерийного производства звездочки нарезают дисковыми фрезами (метод копирования) на горизонтально-фрезерном станке или фрезами грибового типа на вертикально-фрезерном станке (крупные звездочки) с использованием делительной головки. В условиях серийного и массового производства звездочки нарезают червячными фрезами (соответствующего профиля) на зубофрезерном станке (методом обкатки).

Храповые колеса с зубьями специального профиля также нарезают дисковыми фрезами (единичное производство) на горизонтально-фрезерном станке с использованием делительной головки и червячными фрезами (соответствующего профиля) на зубофрезерном станке (серийное и массовое производство).

Применяют червячные фрезы специальной конструкции и с определенной установкой.

Для получения храпового колеса с поднутренными зубьями (имеющими угол  $\gamma$ ) при фрезеровании зубьев дисковой фрезой заготовку смещают относительно фрезы на величину  $h = R \sin \gamma$  (рис. 13.14).

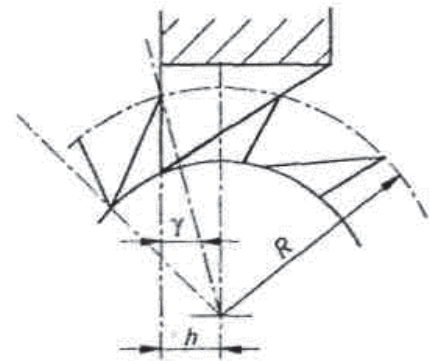


Рис. 13.14. Положение фрезы и храпового колеса для получения угла поднутрения  $\gamma$

### 13.5. ОБРАБОТКА КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В машиностроении распространены конические колеса с прямым зубом.

Нарезание конических колес с прямым зубом включает черновое нарезание на горизонтально-фрезерных станках с использованием делительной головки или на специальных станках (работающих аналогично) дисковой модульной фрезой; чистовое нарезание на зубострогальном станке; при модулях  $m < 2$  черновое нарезание исключают, ограничиваясь обработкой на зубострогальном станке; круговое протягивание; обкатка парой фрез.

При *зубострогании* нарезаемое колесо 1 (рис. 13.15) как бы находится в зацеплении с воображаемым плоским колесом 2. Роль двух зубьев воображаемого плоского колеса выполняют два резца 3, совершающие кроме вращательного (как воображаемого плоского колеса) еще и возвратно-поступательные строгальные движения.

Вращения нарезаемого колеса и резцов (зубьев воображаемого колеса) увязаны между собой так, как если бы они находились в действительном зацеплении. В процессе одной обкатки резцы 3 обстругивают один зуб заготовки с двух сторон. В направлении стрелки А можно увидеть нарезаемое колесо и резцы.

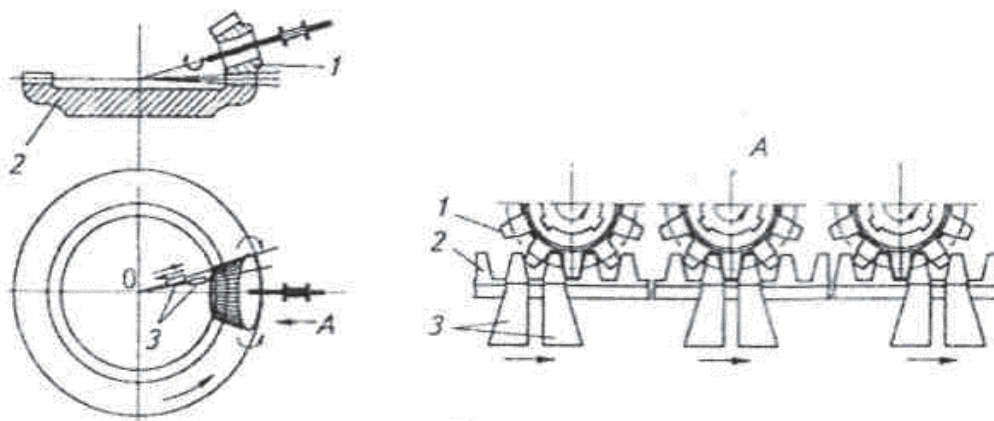


Рис. 13.15. Принципиальная схема процесса зубострогания конических колес

В конце обкатки (после обработки одного зуба), когда резцы выходят из зацепления с нарезаемым колесом, направление вращения нарезаемого колеса и зубострогальных резцов изменяют на обратное, т. е. производят чистовую обработку этого же зуба. В конце обкатки в обратном направлении, когда резцы вышли из зацепления с нарезаемым колесом, нарезаемое колесо отводят от резцов и делительный механизм станка поворачивает его на один зуб. Затем цикл обработки повторяется для каждого зуба до полной обработки конического колеса. Станки этого типа работают по полуавтоматическому циклу (устанавливают заготовки и снимают обработанные колеса вручную, остальной цикл обработки совершается автоматически).

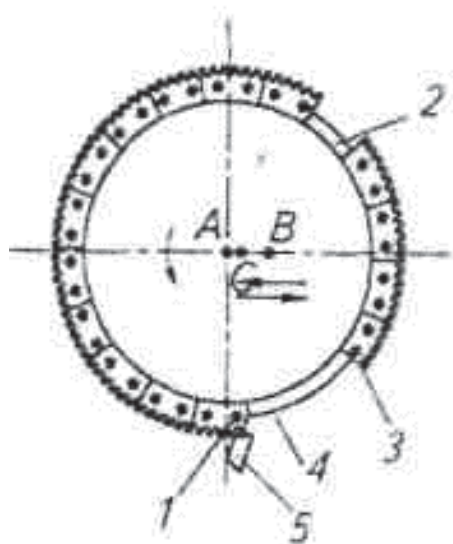


Рис. 13.16. Схема кругового протягивания зубьев конического колеса: 1 – черновые резцы; 2, 4 – участки без зубьев; 3 – чистовые зубья; 5 – заготовка

*Круговое протягивание* применяют в крупносерийном и массовом производстве (рис. 13.16). Круговая протяжка имеет две секции: из черновых (изменяющихся по размерам) и чистовых резцов (производящих зачистку). Заготовку устанавливают под углом так, чтобы нижняя линия впадины была горизонтальна. Круговой протяжке придают вращательное и поступательное движение. При движении центра протяжки из точки А в точку В происходит черновое нарезание зуба. Затем продольное движение протяжки меняют на

обратное и при движении из точки В в точку С производят чистовое нарезание. Движение центра протяжки из точки С в точку А соответствует участку без зубьев. В этом периоде происходит делительный поворот заготовки для нарезания следующего зуба. Наружный диаметр круговых протяжек 533 и 635 мм.

Для упрощения изготовления эвольвентный профиль в круговой протяжке заменен круговым, поэтому зубчатые колеса, нарезанные круговым протягиванием, не взаимозаменяемы с эвольвентными. Круговое протягивание обязательно для пары сопрягаемых колес.

Зубопротягивание в 2 – 3 раза производительнее зубострогания и обеспечивает 8...9-ю степень точности.

*Способ нарезания зубьев парой фрез* производительнее зубострогания. Обработку осуществляют двумя дисковыми фрезами 1 и 2 (рис. 13.17), зубья которых расположены в одной впадине зубьев обрабатываемого колеса 4. Причем зубья одной фрезы располагаются в промежутке между зубьями другой фрезы и совместно воспроизводят один зуб воображаемого плоского колеса 3. В процессе обработки фрезам придают вращательное движение около собственных осей и обкатки совместно с обрабатываемым колесом. При обкатке в одну сторону происходит нарезание одной впадины, затем следует обкатка в обратную сторону (холостой ход – зачистка впадины), делительный поворот заготовки (в момент, когда фрезы вышли из зацепления с заготовкой) и повторение цикла обработки.

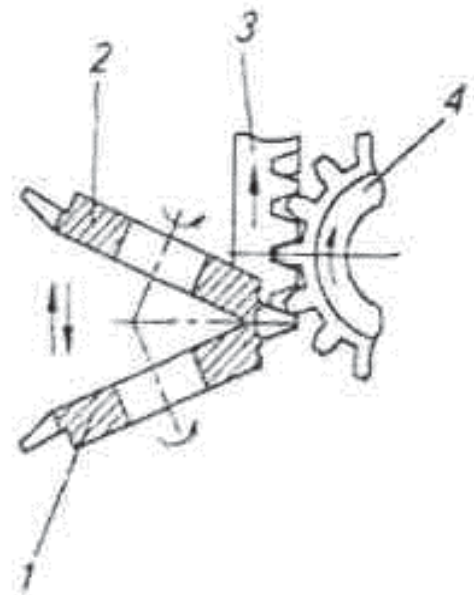


Рис. 13.17. Схема нарезания зубьев парой фрез:  
1, 2 – фрезы;  
3 – воображаемое плоское колесо; 4 – заготовка

Зубчатые колеса, нарезаемые этим способом, взаимозаменяемы с колесами, нарезаемыми способом строгания. Поскольку в данном способе перемещения инструмента вдоль впадины не происходит, то дно впадины имеет небольшую вогнутость.

На станках для фрезерования зубчатых колес парой фрез можно производить обработку без обкатки – методом врезания и последовательной обработки впадин. Такой способ нарезания применяют в качестве черновой обработки зубьев конических колес, чистовую же обработку производят в процессе обкатки пары дисковых фрез и заготовки.

Последующая обработка конических колес с прямым зубом заключается в термической обработке (согласно требованиям чертежа) и шлифовании посадочного отверстия. Особо ответственные зубчатые колеса подвергают приработке в паре с сопрягаемым колесом в течение 4...10 мин, используя смазку и абразив.

**Понятие о нарезании конических колес со спиральным зубом.** Конические колеса со спиральным зубом по сравнению с колесами с прямым зубом позволяют при тех же габаритах передавать больший крутящий момент, что дает возможность уменьшить размеры колес. Нарезание конических колес со спиральным зубом производят на довольно сложных специализированных станках вращающимися головками. Резцовая головка 1 (рис. 13.18) установлена в люльке 2 и кроме вращения вокруг своей оси (движения резания) вращается еще вместе с люлькой вокруг оси 3 воображаемого плоского колеса 4 (движение обкатки). Один зуб воображаемого плоского колеса воспроизводят резцы 5 резцовой головки. Движение обкатки резцовой головки 1 увязано с движением нарезаемого колеса 6 как движение зубчатых колес, находящихся в зацеплении, т. е. их начальные конусы принудительно катятся без скольжения в одну сторону один к другому.



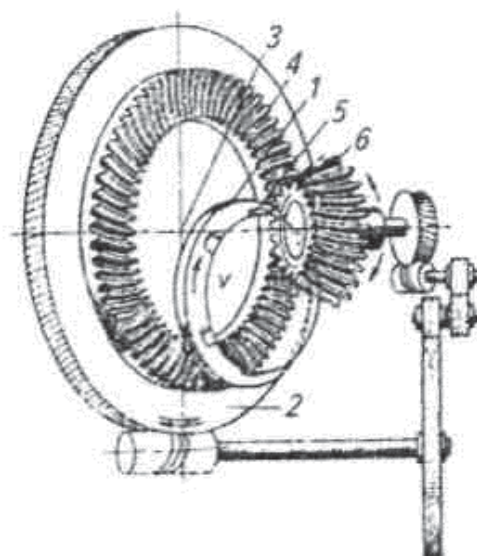


Рис. 13.18. Схема нарезания конического колеса со спиральным зубом:  
 1 – резцовая головка; 2 – плоскость воображаемого плоского колеса; 3 – ось воображаемого плоского колеса; 4 – зубья воображаемого плоского колеса; 5 – резец резцовой головки; 6 – заготовка

### 13.6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

По конструктивным и технологическим признакам зубчатые колеса делятся на цилиндрические и конические без ступицы и со ступицей, с гладким или шлицевым отверстием (рис. 13.19, *а*); многовенцовые, блочные с гладким или шлицевым отверстием (рис. 13.19, *б*); цилиндрические и конические фланцевого типа (рис. 13.19, *в*); цилиндрические и конические с хвостовиком (валы-шестерни) (рис. 13.19, *г*).

Если посмотреть на конструкции зубчатых колес с точки зрения технологии их изготовления, то часть из них похожа на особые втулки или диски, другая часть – на особые валы.

В связи с этим технологические системы обработки зубчатых колес разделяются на два варианта: обработка их как втулок или дисков, т. е. деталей с отверстием (рис. 13.19, *а*, *б*, *в*); обработка их как валов (валов-шестерен) (рис. 13.19, *г*).

Таким образом, обработку зубчатых колес с отверстием (см. рис. 13.19, *а*, *б*, *в*) производят по второй схеме обработки втулок (см. главу 10). В этом случае вначале окончательно обрабатывают отверстие



(а часто и торец детали). Затем обрабатывают наружные поверхности деталей и подрезают второй торец, используя в качестве базы обработанное отверстие (часто обработку ведут с применением оправок). Такая схема обработки обеспечивает concentricity наружных и внутренних поверхностей и перпендикулярность торцов оси отверстия.

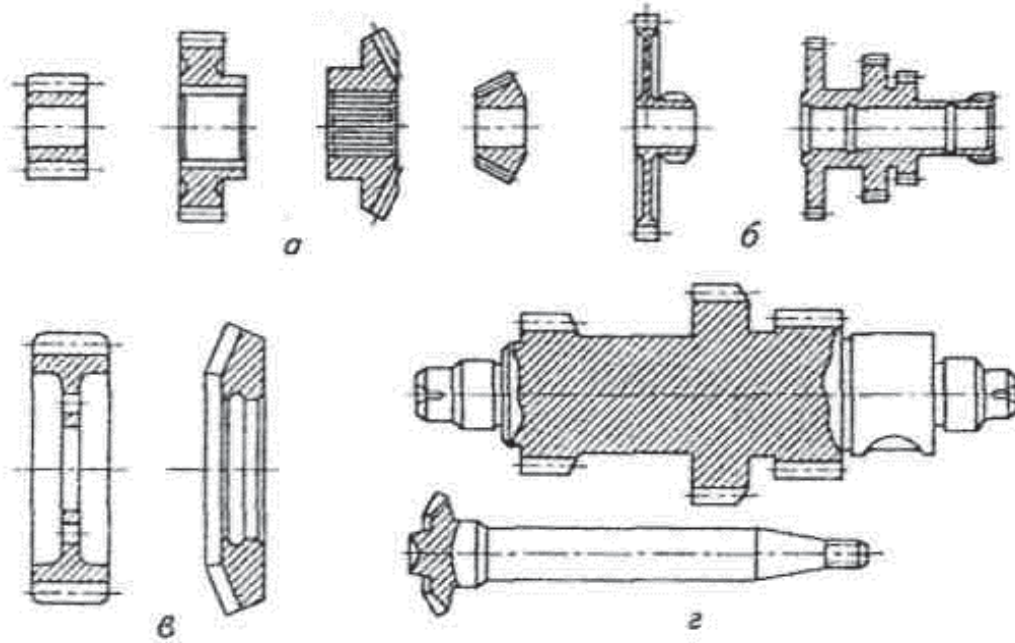


Рис. 13.19. Основные группы цилиндрических и конических зубчатых колес:  
*а* – со ступицей и без ступицы; *б* – многовенцовые, блочные; *в* – фланцевого типа;  
*г* – валы-шестерни

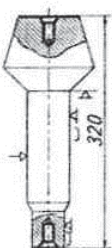
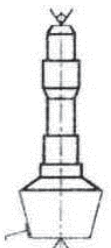
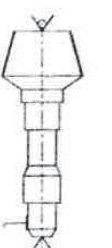
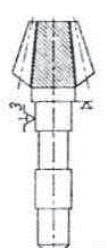
Зубчатые колеса с хвостовиком (валы-шестерни) обрабатывают как вал на центровых гнездах. Таким образом, первыми операциями являются подрезка торцов вала-шестерни и его зацентровка (например, на фрезерно-центровальных станках). Токарная обработка валов-шестерен мало отличается от обработки валов, которые рассмотрены ранее в главе 9.

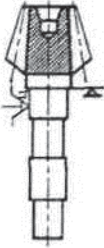
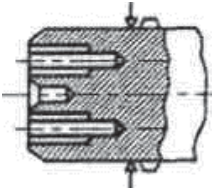
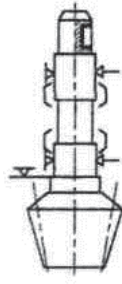
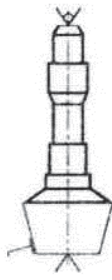
В индивидуальном и серийном производстве зубчатые колеса обрабатывают на токарных и револьверных станках; в крупносерийном и массовом производстве – на горизонтальных и вертикальных токарных полуавтоматах и переналаживаемых автоматических линиях.

Технологические схемы обработки вала-шестерни и конического зубчатого колеса с отверстием приведены в табл. 13.1 и 13.2.

Таблица 13.1

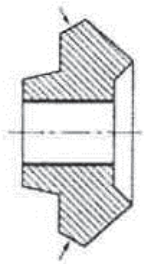
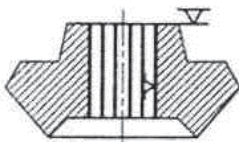
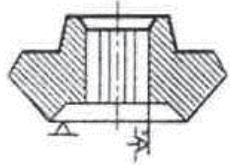
## Технологическая схема обработки валов-шестерен

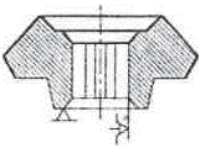
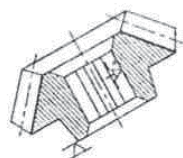
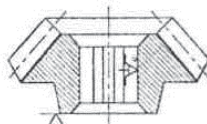
№	Инструмент	Наименование операции	Эскиз установки (позиции)	Станок	Приспособление
05	Фрезы торцовые, сверла центровочные	Фрезерно-центровальная (фрезеровать торцы и сверлить центровочные гнезда)		Фрезерно-центровальный	Приспособление с призмами
10	Резец проходной, подрезной, упорный	Токарная (точить хвостовик)		Токарный	Поводковый патрон, центр
15	Резец проходной	Токарная (точить головку)		Токарный	Поводковый патрон, центр
20	Дисковая модульная фреза	Фрезерная (нарезать зубья)		Горизонтально-фрезерный	Делительная головка с патроном

№	Инструмент	Наименование операции	Эскиз установки (позиции)	Станок	Приспособление
25	Зубострогальные резцы	Зубострогальная (нарезать зубья)		Зубострогальный	Цанговый патрон
30	Сверло, метчики	Сверлильная (сверлить отверстие, нарезать резьбу)		Вертикально-сверлильный	Спецзажим, кондуктор
35	Фреза пальцевая (шпоночная)	Фрезерная (фрезеровать шпоночный паз)		Шпоночно-фрезерный	Пневматическое приспособление
40	Шлифовальный круг	Шлифовальная (шлифовать шейки)		Шлифовальный круг	Поводковый патрон, хомут, центра

Технологическая схема обработки конического зубчатого колеса

Таблица 13.2

№	Инструмент	Наименование операции	Эскиз установки (позиции)	Станок	Приспособление
05	Сверло, цековка	Сверлильная (сверлить отверстие, торец подрезать)		Сверло, цековка	Тиски со специальными губками
10	Протяжки круглая и шпоночная	Протяжная (протянуть отверстие и шпоночный паз)		Горизонтально-протяжной	Патрон и адаптерная втулка
15	Резец, проходной подрезной	Токарная (точить поверхность, подрезать торец, снять фаски)		Токарный	Цанговый патрон

№	Инструмент	Наименование операции	Эскиз установки (позиции)	Станок	Приспособление
20	Резец проходной, подрезной, фасочный	Токарная (точить конусы, подрезать торец, снять фаски)		Токарный	Цанговый патрон
25	Дисковая модульная фреза	Фрезерная (нарезать зубья предварительно)		Горизонтально-фрезерный	Делительная головка с цанговым патроном
30	Зубострогальные резцы	Зубострогальная (нарезать зубья окончательно)		Зубострогальный	Цанговый патрон

### 13.7. КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

**Цилиндрические колеса.** Точность зубчатых колес характеризуется кинематической точностью и плавностью работы, пятном контакта рабочих поверхностей зубьев и величиной бокового зазора между рабочими профилями зубьев.

Для определения величины кинематической погрешности зубчатое колесо вводят в зацепление с точно изготовленным эталонным колесом, устанавливают заданное чертежом межосевое расстояние и производят обкатку (поворачивают измеряемое колесо на один оборот). При повороте фиксируют изменение положения колеса в радиальном направлении от номинального. На рис. 13.20, *а* приведен график кинематической погрешности от угла поворота. Наибольшую величину погрешности за полный оборот  $\Delta F_{\Sigma}$  принимают за кинематическую погрешность колеса.

На этом же графике видны более мелкие, но повторяющиеся отклонения от общей погрешности  $a_1, a_2, a_3$  и др. Эти погрешности ведет к возникновению динамических явлений, вибрациям и шуму при работе зубчатых передач. Они также являются причиной нарушения плавности работы передач, поэтому за критерий плавности принята средняя величина этих погрешностей за один оборот колеса – циклическая погрешность.

$$\Delta F = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n},$$

где  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – отклонения от общей погрешности в различных сечениях в пределах одного оборота колеса;  $n$  – количество сечений в пределах одного оборота колеса.

Для проверки зубчатых колес применяют прибор типа УЗП-400, показанный на рис. 13.20, *б*. Шестерни 1 и 2 (одна из них эталонная) прижимаются пружиной 3 друг к другу без бокового зазора в зубьях. При вращении шестерен по показанию индикатора 4 определяют наибольшее изменение межцентрового расстояния  $A$ . По наибольшей величине этого колебания судят о кинематической точности проверяемой шестерни.

На этом же приборе при повороте шестерни на один зуб по наибольшему показанию индикатора 4 судят о плавности работы передачи. Часто на этом приборе определяют пятно контакта боковых поверхностей зубьев.

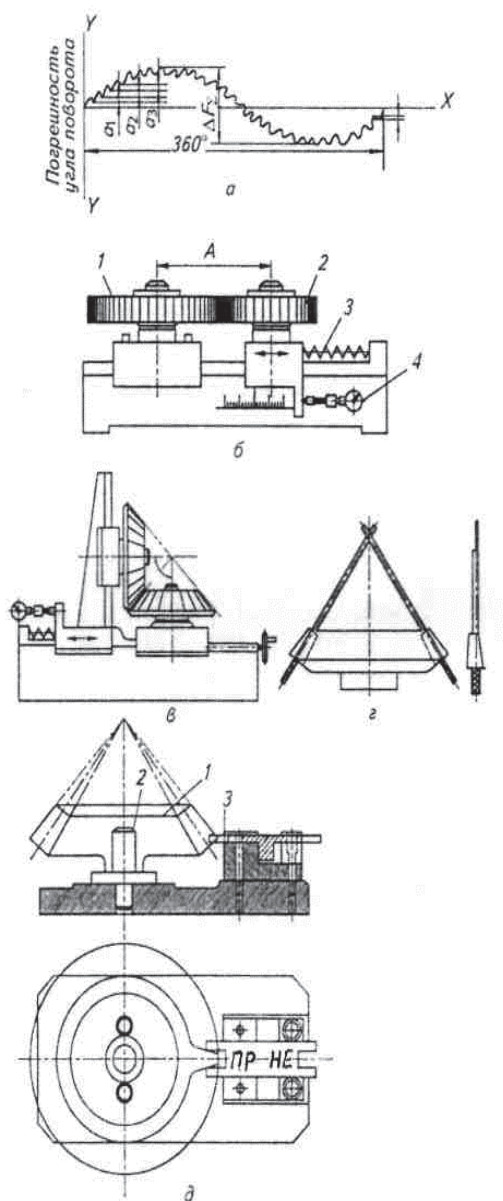


Рис. 13.20. Контроль зубчатого зацепления: а – график кинематической погрешности; б – прибор для проверки цилиндрических колес без бокового зазора в зубьях; в – прибор для проверки конических колес без бокового зазора в зубьях; г – проверка направления зубьев конического колеса; д – проверка толщины зуба конического колеса: 1 – коническое колесо; 2 – установочный штырь; 3 – калибр, пр – проходной, не – непроходной; 4 – индикатор

*Пятном контакта* называют следы прилегания зубьев к зубьям парного колеса после вращения собранной передачи при легком торможении. Контроль осуществляют путем совместной обкатки сопрягаемых колес. Перед обкаткой рабочие поверхности профиля зубьев покрывают краской. Схема расположения пятен контакта на зубьях приведена на рис. 13.21.

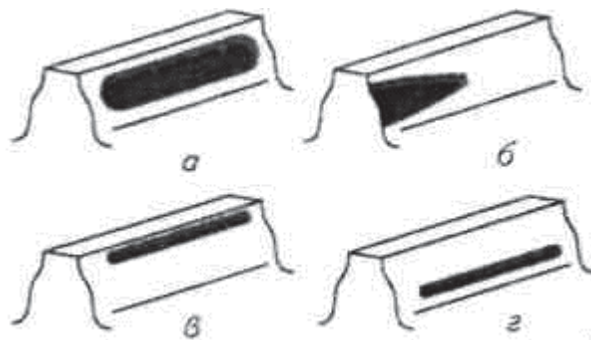


Рис. 13.21. Схема расположения пятен контакта на зубьях: *а* – при нормальном зацеплении; *б* – при перекосе осей; *в* – при межосевом расстоянии больше нормального; *г* – при межосевом расстоянии меньше нормального

Проверку толщины зубьев (боковых зазоров) заменяют проверкой длины общей нормали (рис. 13.22), которая является касательной к основной окружности зубчатого колеса. Число охватываемых зубьев выбирают таким образом, чтобы точки касания ножек прибора и рабочих поверхностей зубьев находились ближе к начальной окружности. Проверку длины общей нормали производят предельной скобой (рис. 13.22, *а*), нормалеммером (рис. 13.22, *б*), зубомерным микрометром (рис. 13.22, *в*) или штангенциркулем. Зубомерный микрометр отличается от нормального микрометра тем, что подвижная и неподвижная измерительные губки выполнены в виде дисков.

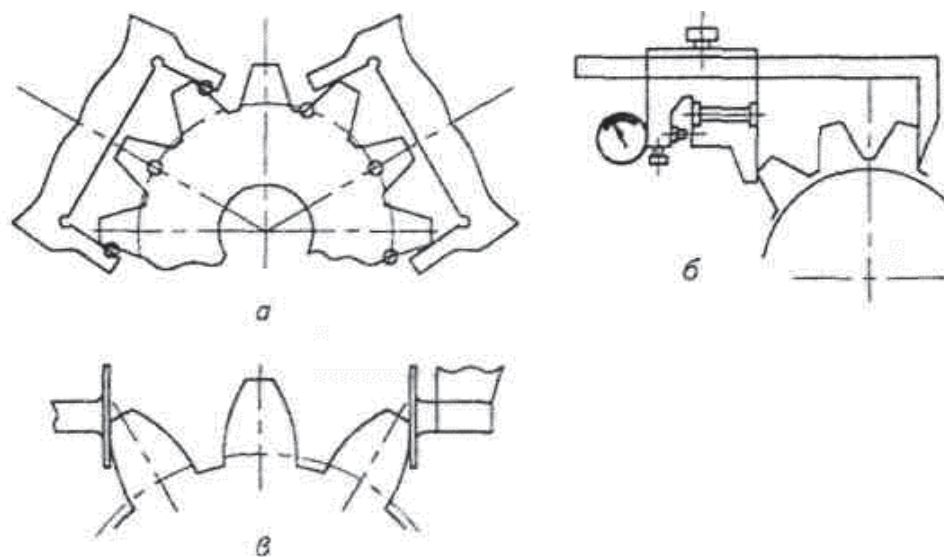


Рис. 13.22. Схемы измерения длины общей нормали:  
*а* – предельной скобой; *б* – нормалеммером; *в* – зубомерным микрометром



В единичном и мелкосерийном производстве толщину зубьев проверяют штангензубомером (рис. 13.23). За измерительную базу при измерении штангензубомером принимают наружный диаметр зубчатого колеса, поэтому при использовании штангензубомера наружный диаметр делают точнее, чем это необходимо по условиям работы зубчатого колеса.

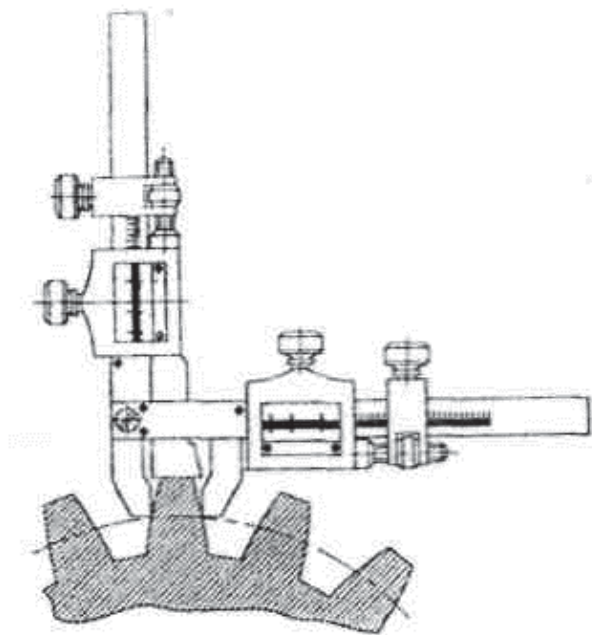


Рис. 13.23. Схема измерения толщины зуба штангензубомером

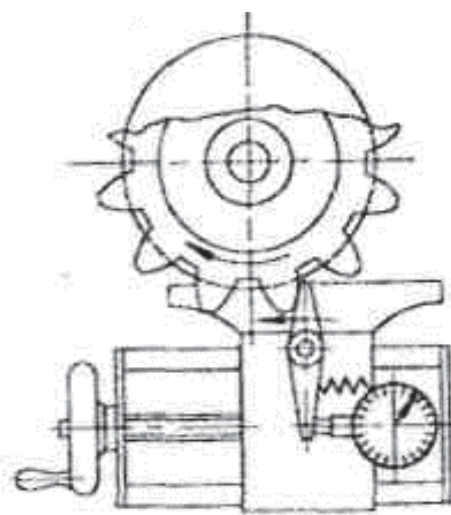


Рис. 13.24. Схема эвольвентомера

При поэлементном (более подробном) контроле зубчатого колеса применяют эвольвентомер (рис. 13.24), определяющий отклонение профиля зуба колеса от расчетного (теоретического), и шагомер (рис. 13.25) для определения разности между двумя окружными зубьями, т.е. выявляют неравномерность окружного шага, накопленную погрешность окружного шага и др.

**Конические колеса.** Показатели точности конических колес с прямыми зубьями аналогичны показателям точности для цилиндрических зубчатых колес, поэтому и способы их контроля аналогичны. Для контроля кинематической точности и плавности работы применяют прибор (аналогичный прибору для цилиндрических колес), показанный на рис. 13.20, в. Одна из конических шестерен является эталонной. Обе шестерни плотно прижимаются друг к другу пружиной. На этом приборе при помощи

индикатора проверяют осевое перемещение одного из колес за один полный оборот колеса.

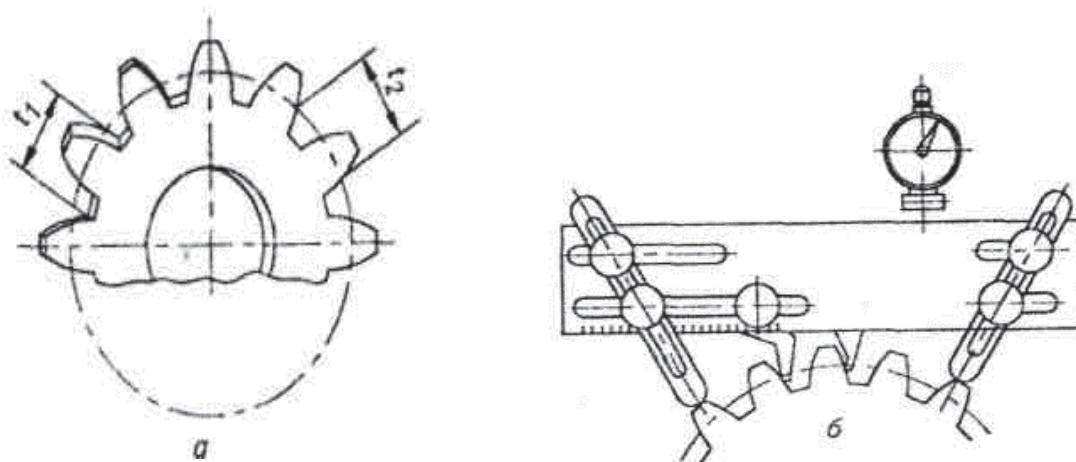


Рис. 13.25. Схемы контроля отклонения окружного шага (а) и шагомера для измерения окружного шага (б)

В индивидуальном и мелкосерийном производстве толщины зубьев конических колес проверяют зубомером, поэтому наружный диаметр колеса и расстояние от вершины зубьев до базового торца колеса надо выполнять соответствующей точности. В серийном и массовом производстве толщину зуба контролируют предельными скобами (см. рис. 13.20, д). На этом же приборе (см. рис. 13.20, е) проверяют пятна контакта и правильность зацепления.

В прямозубых конических колесах рекомендуется периодически проверять направление зубьев. Для этого две шпильки закладывают в противоположные впадины зубчатого колеса (см. рис. 13.20, з). Срез одной шпильки должен пройти под срезом другой. Затем шпильки поворачиваются на  $180^\circ$ , и их срезы должны опять пройти один над другим.

В мировой практике широко используются координатно-измерительные машины (КИМ) для измерения различных параметров как наружного профиля зубчатого колеса (рис. 13.26), так и внутреннего профиля зуба (рис. 13.27).

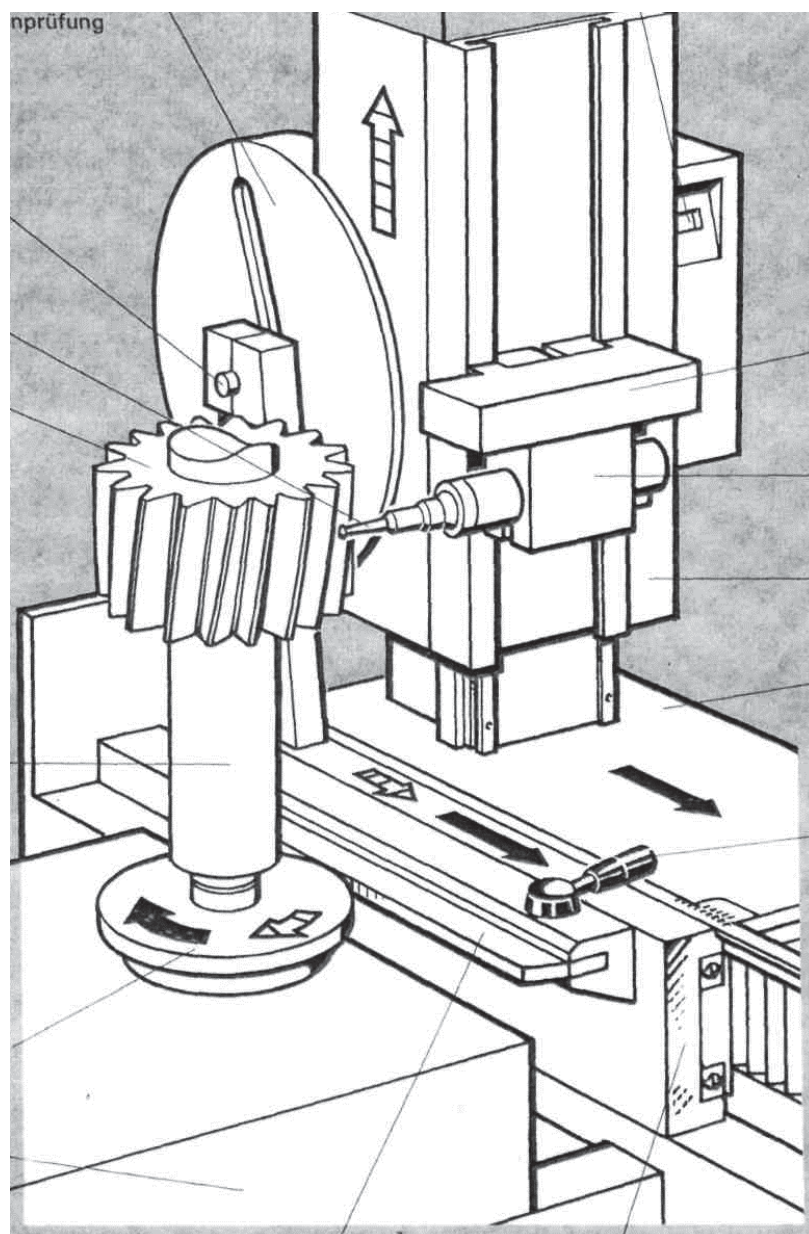


Рис. 13.26. Сканирование наружного профиля зуба

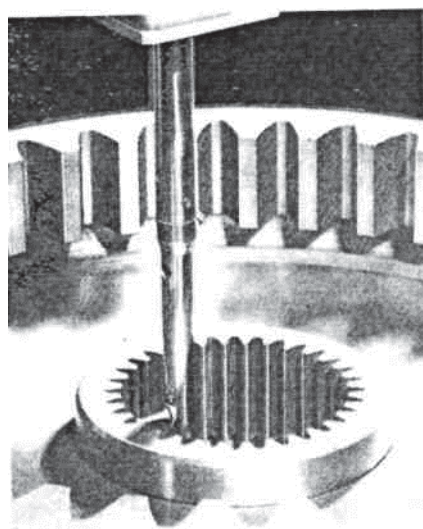


Рис. 13.27. Сканирование внутреннего профиля колеса

КИМ позволяет сканировать поверхности зуба с дискретностью до 0,1 мкм и отобразить профиль на экране дисплея (рис. 13.28) с выводом всей информации и изображения на принтер (рис. 13.29) [19].

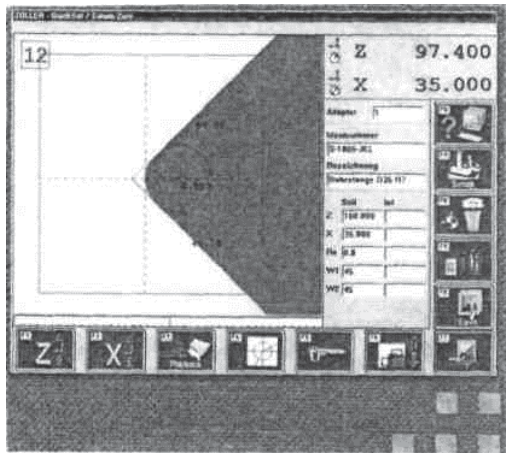


Рис. 13.28. Профиль зуба на экране дисплея

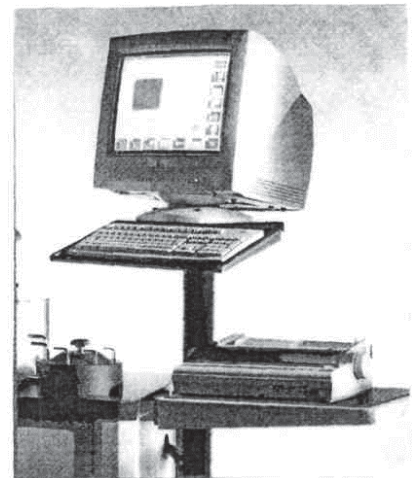


Рис. 13.29. Вся информация поступает на принтер

### Контрольные вопросы и задания

1. Какие материалы и заготовки используют для изготовления цилиндрических зубчатых колес?
2. Сколько имеется степеней точности зубчатых колес и какие применяются в сельхозмашинах и тракторах?
3. Назовите способы образования зубьев на цилиндрических колесах.
4. Сравните нарезание зубьев колес червячными фрезами и долбьяками.
5. Для чего закругляют зубья колес и какой применяют при этом инструмент?
6. Какие существуют способы чистовой отделки цилиндрических колес?
7. Перечислите операции нарезания конических зубчатых колес с прямым зубом.
8. Как производят контроль цилиндрических зубчатых колес?

## 14. ОБРАБОТКА ЧЕРВЯКОВ И ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС

### 14.1. МАТЕРИАЛЫ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ЧЕРВЯКОВ И ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Червячные пары применяют для передачи движения между пересекающимися осями, расположенными под углом  $90^\circ$ , когда необходимо значительно снизить частоту вращения ведомого вала.

Червяки изготавливают из цементуемых сталей марок 20Х, 12ХНЗА, подвергаемых цементации с поверхностной закалкой ТВЧ, а также сталей марок 40, 45, 40Х, 40ХН, закаливаемых до HRC 48...57. Для неответственных передач червяки подвергают только нормализации или улучшению.

Заготовками для червяков в зависимости от масштаба производства служат круглый прокат, поковки и штамповки.

Червячные колеса часто делают сборными, состоящими из венца и ступицы. Мелкие колеса изготавливают в виде одной детали. Венец делают из бронзы или антифрикционного чугуна. Для ответственных передач применяют оловянистую бронзу, например оловянисто-фосфористую БрОФ 10–1. При малых окружных скоростях (менее 2 м/с) червячные колеса изготавливают из чугуна марок СЧ15, СЧ20.

По степени точности червячные передачи подразделяют на высокоточные (6-я степень), точные (7-я степень), средней точности (8-я степень) и пониженной точности (9-я степень).

В высокоточных передачах применяют цементованные и закаленные или только закаленные червяки, поверхности витков червяка шлифуют и притирают. Червячные колеса нарезают шлифованными фрезами. Окончательную отделку червячных колес проводят шевером или притиркой. Рекомендуется обкатка под нагрузкой.

В точных передачах (7-я степень) рекомендуется цементация и закалка или только закалка червяков, червяки необходимо шлифовать по профилю. Червячные колеса нарезают шлифованными червячными фрезами.

Окончательная отделка червячных колес – червяк-шевером или притиркой. При отсутствии чистовой отделки колеса обкатка под нагрузкой обязательна. Ее применяют при окружной скорости (по червячному колесу) до 7,5 м/с. Точные передачи применяют в силовых передачах подъемных и поворотных механизмов и др.

В передачах средней точности (8-я степень) рекомендуется окончательная обработка червяков на токарных и зубофрезерных станках. Нарезание червячных колес следует производить шлифованной по профилю фрезой или «летучим» резцом. Окончательное нарезание дисковыми фрезами не допускается. Рекомендуется обкатка под нагрузкой. Допустимые окружные скорости (по червячному колесу) – до 3 м/с. Данную точность применяют для неответственных передач, работающих кратковременно.

Пониженная точность (9-я степень) получается при окончательной обработке червяков на токарных или зубофрезерных станках и нарезании червячных колес любым способом. Допустимые передачей окружные скорости – до 1,5 м/с. Указанная точность годится для неответственных передач и в ручных передачах.

## 14.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЧЕРВЯКОВ

По форме начальной (или делительной) поверхности червяки бывают цилиндрические (геликоидальные) и глобоидальные (глобоидные), у которых начальная поверхность получается в результате вращения дуги начальной окружности червячного колеса около оси червяка. Глобоидные червячные пары обладают большей площадью контакта червяка с червячным колесом, что ведет к снижению удельных нагрузок и уменьшению износа.

Цилиндрические червяки по форме сечения витков разделяются на три типа.

1. Архимедов червяк, у которого в сечении, перпендикулярном оси червяка, боковая сторона витка образует архимедову спираль, а в осевом сечении – прямую линию. По существу, архимедов червяк – обычный винт с



трапецеидальной резьбой. Основное преимущество архимедова червяка – простота обработки, не требующая использования специального оборудования (червяк можно изготовить на токарно-винторезном станке резцом с прямолинейной режущей кромкой). Недостатком является низкий КПД передачи, равный 50...80 %, что ведет к значительным потерям мощности и быстрому износу зубьев червячной пары. Архимедовы червяки применяют в неответственных, малонагруженных и тихоходных червячных передачах.

2. Эвольвентный червяк, у которого в сечении, перпендикулярном оси червяка, боковая сторона витка образует эвольвенту, а в осевом сечении – кривую линию. Этот тип червяка можно рассматривать как цилиндрическое зубчатое колесо с эвольвентным профилем зуба и числом зубьев, равным числу заходов червяка.

Основное преимущество эвольвентного червяка – высокий КПД, достигающий 90 %. Поэтому эвольвентные червяки применяют в ответственных червячных передачах, работающих при значительных нагрузках и скоростях. Недостаток червяка заключается в усложнении технологического процесса его изготовления, необходимости применения специализированного оборудования, что обуславливает его изготовление в условиях крупносерийного и массового производства.

3. Червяк с прямолинейным профилем в сечении, нормальном к витку. В поперечном к оси червяка сечении боковая сторона витка образует удлиненную эвольвенту. Этот червяк является особой разновидностью эвольвентного червяка.

Из перечисленных трех типов цилиндрических червяков наиболее распространены архимедов и эвольвентный червяки. У всех трех указанных червяков винтовые поверхности образованы винтовым движением прямой линии. У архимедова червяка эта прямая  $aa$  пересекает ось  $oo$  червяка (рис. 14.1,  $a$ ), а у эвольвентного она остается касательной к некоторому основному цилиндру диаметром  $d_0$ , имеющему общую ось с червяком (рис. 14.1,  $b$ ). Такая особенность этих винтовых поверхностей обеспечивает

возможность обработки червяков на токарном станке резцами с прямолинейной кромкой. При обработке архимедова червяка прямолинейную режущую кромку резца ставят на уровне центров станка. При обработке эвольвентного червяка режущая кромка резца должна стоять выше или ниже центров станка (в зависимости от направления витка) на величину радиуса основного цилиндра (рис. 14.1, *а*).

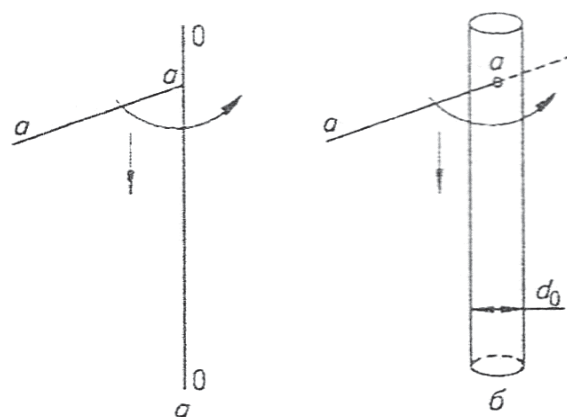


Рис. 14.1. Схемы образования винтовых поверхностей червяков:  
*а* – архимедова; *б* – эвольвентного

Необходимость установки резца выше (или ниже) центров станка значительно затрудняет обработку на токарном станке из-за невыгодности передних и задних углов резца.

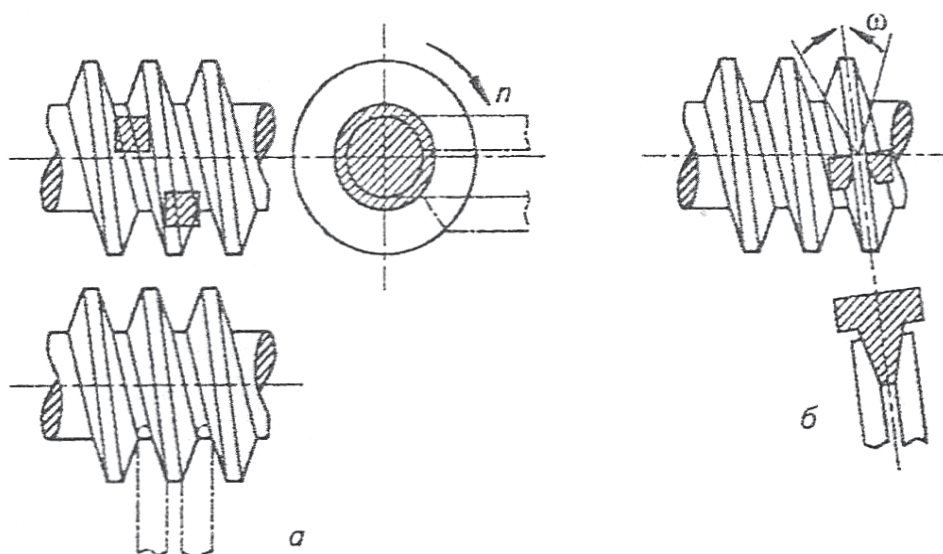


Рис. 14.2. Нарезание червяков на токарном станке резцом с прямолинейной режущей кромкой

Червяк с прямолинейным профилем в сечении, нормальном к витку, тоже можно обработать на токарном станке резцом с прямолинейной режущей кромкой при установке резцов под углом  $\omega$  к оси центров станка, равным углу наклона витков червяка (рис. 14.2, *б*).



Наличие у всех видов червяков винтовых поверхностей, образованных движением линии, позволяет шлифовать эти поверхности торцом тарельчатого круга.

### 14.3. НАРЕЗАНИЕ ЧЕРВЯКОВ РАЗНЫХ ТИПОВ

Цилиндрические червяки различных типов нарезают резцами на токарно-винторезных станках, дисковыми фрезами – на резьбофрезерных станках, «вихревым» способом – на токарно-винторезных станках, червячными фрезами – на зубофрезерных станках, дисковыми зубчатыми резцами (долбьяками) – на зубофрезерных станках.

Нарезание резцами на токарно-винторезных станках применяют прежде всего для архимедовых червяков. Резец с прямолинейной режущей кромкой устанавливают по оси центров станка. Архимедов червяк нарезают по правилам нарезания трапецеидальной резьбы.

При нарезании эвольвентного червяка, как уже отмечалось, резец с прямолинейной режущей кромкой ставят выше или ниже оси центров станка (в зависимости от направления витка) на величину радиуса основного цилиндра (см. рис. 14.2, *а*). В этом случае процесс резания ухудшается из-за невыгодности передних и задних углов резца, поэтому часто эвольвентные червяки обрабатывают на токарном станке резцами с криволинейной режущей кромкой, установленными по оси центров станка. Использование резца с криволинейной кромкой усложняет технологию изготовления червяка.

Нарезание червяков резцами малопродуктивно. При нарезании архимедова червяка достигается высокая точность (выше точности нарезания червяка дисковой фрезой на резьбофрезерном станке). Часто при нарезании архимедова червяка токарную обработку применяют в качестве чистовой операции.

Нарезание дисковой фрезой на резьбофрезерном станке (рис. 14.3) производительнее нарезания червяка резцом на токарном станке. Однако

дисковая фреза «разбивает впадины» при входе и выходе зубьев, что снижает точность червяка. Это объясняется тем, что углы подъема витка у вершины и ножки витка червяка могут значительно отличаться от угла подъема по начальному цилиндру червяка, по которому устанавливают фрезу. В связи с этим нарезание дисковой фрезой часто применяют в качестве черновой операции при нарезании цилиндрических червяков всех типов.

«Вихревой» способ нарезания червяков осуществляют при помощи специальной установки с резцовой головкой, установленной вместо резцедержателя на токарно-винторезном станке. Установка (рис. 14.4) состоит из плиты-основания 1, на которой размещены электродвигатель 2 и резцовая головка 3, вращающаяся от электродвигателя через ременную передачу.

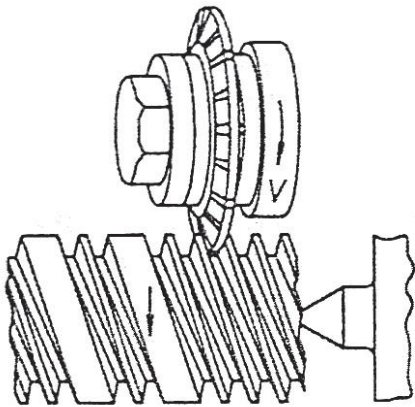


Рис. 14.3. Схема нарезания червяка дисковой фрезой на резьбофрезерном станке

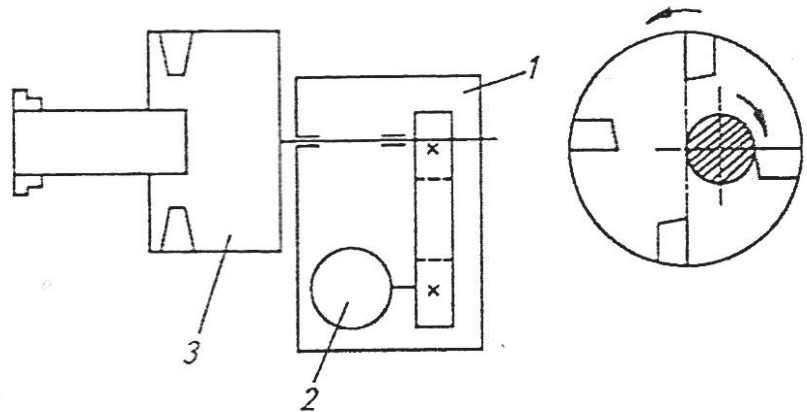


Рис. 14.4. Схема нарезания резьбы на токарном станке «вихревым способом»

Резцовая головка имеет 1...4 резца и установлена эксцентрично по отношению к нарезаемому червяку. Кроме того, головку поворачивают относительно оси детали на величину угла подъема винтовой линии резьбы. При наличии четырех резцов два резца прорезают канавку, третий определяет профиль резьбы, а четвертый удаляет заусенцы. Деталь и резцы, оснащенные твердым сплавом, вращаются в разные стороны. Установка в процессе работы имеет продольную подачу, равную шагу нарезаемого червяка. Процесс резания

имеет много общего с процессом фрезерования резьбы. При наличии резцов с прямолинейными кромками получают архимедов червяк.

Нарезание червяков червячными фрезами на зубофрезерных станках (рис. 14.5) применяют для нарезания эвольвентных червяков с большим углом подъема витка. Использование зубофрезерных станков для нарезания червяков не всегда возможно из-за ограничения возможности настройки их делительной цепи на малые числа зубьев. Способ высокопроизводителен, но не особо точен (8...9-я степень и ниже). Для нарезания эвольвентных червяков применяют червячную фрезу с прямолинейными зубьями.

Нарезание червяков дисковым зубчатым резцом (долбяком) на зубофрезерном станке (рис. 14.6) применяют для изготовления архимедова червяка, так как прямолинейный профиль витков червяка будет получаться в осевой плоскости.

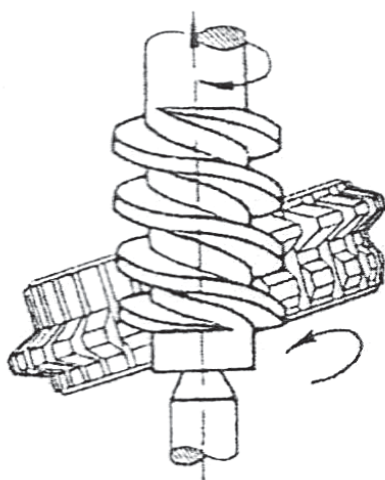


Рис. 14.5. Нарезание червяка червячной фрезой

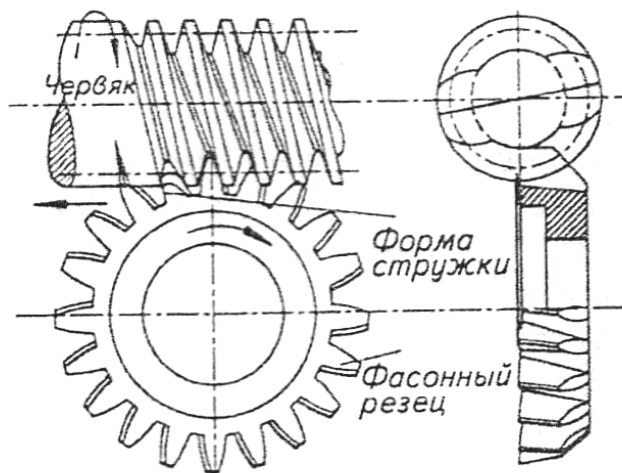


Рис. 14.6. Нарезание червяка долбяком (зубчатым резцом)

Заготовка получает вращательное движение, долбяк — вращательное и поступательное вдоль оси червяка, которые увязаны между собой так, что обеспечивают качение долбяка по воображаемой рейке профиля червяка. В данном случае долбяк играет роль дискового фасонного резца. Для нарезания

червяков с углом подъема винтовой линии менее  $5...6^\circ$  долбяк делают с прямыми зубьями, при угле подъема более  $5...6^\circ$  – с косыми.

Червяки 7-й степени точности необходимо шлифовать по профилю зубьев, а 6-й степени точности – шлифовать и притирать по профилю зубьев.

Винтовые поверхности червяка шлифуют на резьбошлифовальном станке. При этом сначала шлифуют одну сторону витка, затем червяк переустанавливают в центрах с поворотом на  $180^\circ$  и шлифуют вторую сторону витка (рис. 14.7). При шлифовании червяка шлифовальный круг устанавливают так, чтобы его торцевая плоскость была касательной к поверхности витка. Для эвольвентного червяка центр круга должен быть выше (или ниже) относительно оси червяка на величину радиуса основного цилиндра  $r_0 = d_0/2$  (см. рис. 14.1). При шлифовании архимедова червяка центр круга располагают на уровне оси червяка.

Притирку производят путем обкатки изготавливаемого червяка с притиром – червячным колесом, изготовленным из серого чугуна или бука, в присутствии мелкозернистого абразива и масла.

Существует правило: для лучшего совпадения винтовых поверхностей червяка и колеса необходимо, чтобы червячная фреза для обработки червячного колеса обрабатывалась на тех же станках, теми же инструментами и при той же наладке, что и при обработке червяков. Правило это трудновыполнимое, но если его все же удастся соблюсти, то износ червячных пар уменьшается.

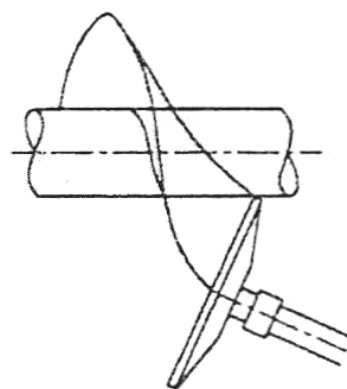


Рис. 14.7. Схема шлифования витка червяка

Нарезание глобоидных червяков возможно на зубофрезерном станке специальной резцовой головкой и на специализированных станках для нарезания глобоидных червяков дисковым зубчатым резцом (долбяком).

Нарезание на зубофрезерном станке специальной резцовой головкой (рис. 14.8) применяют в условиях единичного и серийного производства.

Заготовку глобоидного червяка устанавливают на оправке на месте червячной фрезы, а резцовую головку – на месте заготовки. Резцовая головка имеет три резца: один правый (обрабатывает одну сторону витка), второй левый (обрабатывает вторую сторону витка) и третий обрабатывает впадину.

Такое разделение функций резцов облегчает условия резания каждым резцом (в этом случае можно придать каждому резцу положительный передний угол). Заготовка червяка и резцовая головка совершают вращательные движения, увязанные между собой как вращение находящихся в зацеплении червяка и червячного колеса. Резцовая головка имеет радиальную подачу. Когда резцовая головка врежется в заготовку на высоту зуба, процесс прекращается.

Нарезание на специализированных станках дисковым зубчатым резцом (долбяком) (рис. 14.9) применяют в серийном и массовом производстве. В отличие от предыдущей схемы, вместо резцовой головки установлен дисковый зубчатый резец (долбяк), имеющий вращательное движение и радиальную подачу. Заготовка червяка совершает вращательное движение, увязанное с вращением долбяка как вращение сопрягаемой пары – червяка и червячного колеса. Угол наклона косых зубьев долбяка определяется углом подъема витка червяка.

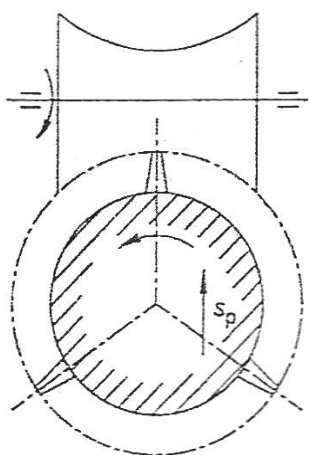


Рис. 14.8. Схема нарезания глобоидного червяка на зубофрезерном станке специальной резцовой головкой

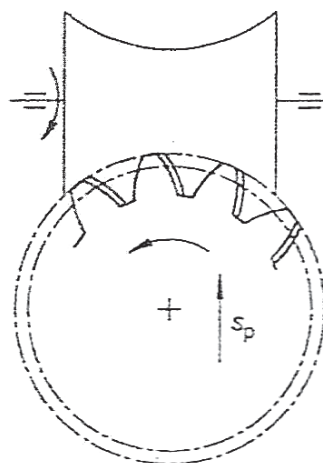


Рис. 14.9. Схема нарезания глобоидного червяка на специализированном станке дисковым зубчатым резцом (долбяком)

#### 14.4. НАРЕЗАНИЕ И ОТДЕЛКА ЗУБЬЕВ ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС

Нарезание зубьев червячных колес производят дисковой модульной фрезой на горизонтально-фрезерном станке; червячной фрезой с радиальной подачей – на зубофрезерном станке; червячной фрезой с тангенциальной подачей – на зубофрезерном станке; «летучим» резцом – на зубофрезерном станке.

Особенность фрез для нарезания зубьев червячных колес заключается в том, что наружные диаметры фрез жестко связаны с размерами червяка. Наружный диаметр фрезы, мм,

$$d_{\phi} = d_{\text{ч}} + 0,4m,$$

где  $d_{\text{ч}}$  – наружный диаметр червяка, мм;  $m$  – модуль червяка, мм.

Величина  $0,4m$  на диаметр обеспечивает прорезание зазора (равного  $0,2m$ ) между зубом колеса и впадиной червяка.

Наличие жесткой связи между размерами фрез и червяка усложняет технологию изготовления червячных колес и требует применения фрез определенных размеров.

Нарезание зубьев дисковой модульной фрезой на горизонтально-фрезерном станке (рис. 14.10) с использованием делительной головки применяют в единичном производстве. Заготовку устанавливают на оправке в патроне делительной головки и подпирают центром с поворотом головки и центра к столу станка на угол наклона зуба  $\alpha$ . Прорезание каждой впадины производят путем вертикальной подачи стола. Затем следует опускание стола до вывода фрезы из заготовки, делительный поворот заготовки и прорезание следующей впадины. Червячные колеса получаются грубыми, поэтому данный способ применяют редко.

Нарезание зубьев червячной фрезой с радиальной подачей (рис. 14.11) производят на зубофрезерном станке. Червячная фреза и заготовка колеса совершают вращательные движения, строго увязанные между собой как

вращение сопрягаемых червяка и червячного колеса. Кроме того, заготовка имеет радиальную подачу для получения требуемой высоты зуба. Из всех ранее перечисленных способов нарезания зубьев данный способ наиболее производителен. Однако по точности колес и шероховатости обработанной поверхности зубьев данный способ уступает способу нарезания зубьев червячной фрезой с тангенциальной подачей. Это объясняется тем, что одни и те же зубья фрезы производят предварительную и окончательную обработку зубьев колеса. Кроме того, по мере переточки диаметр фрезы быстро уменьшается.

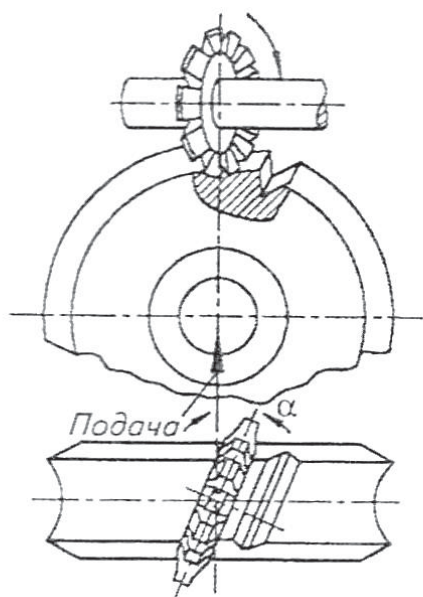


Рис. 14.10. Схема нарезания зубьев червячного колеса дисковой модульной фрезой

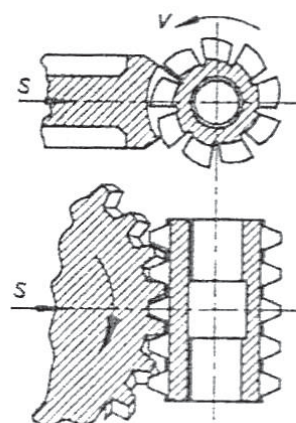


Рис. 14.11. Схема нарезания зубьев червячного колеса червячной фрезой с радиальной подачей

Благодаря своим особенностям данный способ широко применяют для нарезания грубых червячных колес, а также в качестве предварительной обработки червячных колес высокой точности.

Нарезание зубьев червячной фрезой с тангенциальной подачей на зубофрезерном станке (рис. 14.12) возможно при наличии на станке протяжного суппорта (на некоторых моделях станков его нет). Фреза имеет заборный конус, который разделяет зубья фрезы на черновые и чистовые. Червячная фреза и заготовка совершают строго увязанные между собой вращательные движения



как вращение сопрягаемого червяка и червячного колеса. Кроме вращения фреза получает тангенциальную подачу для обработки зубьев червячного колеса черновыми и чистовыми зубьями. Наличие тангенциальной подачи фрезы требует введения дополнительного оборота заготовки для компенсации возникшего нарушения в обкатке червячной фрезы и червячного колеса. Дополнительная частота вращения заготовки, мин<sup>-1</sup>,

$$n_{\partial} = \frac{s}{\pi d_{\text{н}}},$$

где  $s$  – тангенциальная подача фрезы, мм/мин;  $d_{\text{н}}$  – расчетный диаметр начальной окружности червячного колеса, мм.

Способ тангенциальной подачи дает хорошие результаты по точности червячных колес при нарезании колес за одну установку. Еще лучшие результаты получаются при использовании данного способа в качестве чистовой операции после чернового нарезания зубьев колеса методом радиальной подачи.

Описанным способом получают эвольвентные червячные колеса. Возможность шлифования плоским торцом круга витков эвольвентного червяка и червячной фрезы для обработки сопряженных червячных колес обеспечивает большую площадь между витками червяка и зубьями червячного колеса. Благодаря этому повышается КПД эвольвентных передач и износостойкость эвольвентных пар по сравнению с архимедовыми. Нарезание зубьев «летучим» резцом на зубофрезерном станке с протяжным суппортом (рис. 14.13) применяют в единичном производстве.

Процесс в принципе аналогичен нарезанию зубьев червячной фрезой с тангенциальной подачей. Только вместо большого числа зубьев червячной

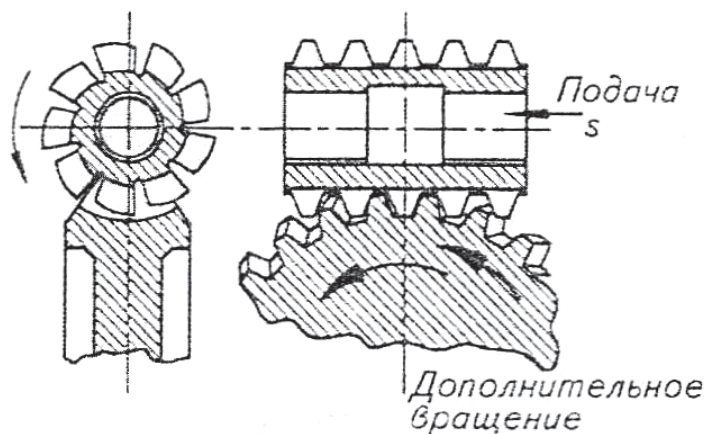


Рис. 14.12. Схема нарезания зубьев червячного колеса червячной фрезой с тангенциальной подачей



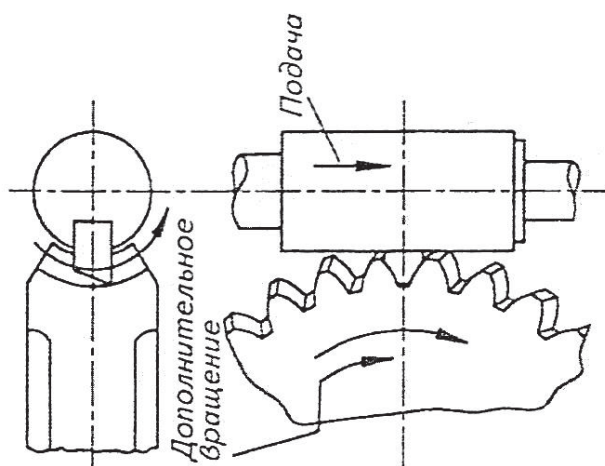


Рис. 14.13. Схема нарезания зубьев червячного колеса «летучим» резцом

фрезы оставлен один резец – «летучка». Резец как зуб червячной фрезы имеет прямолинейные режущие кромки. Частоты вращения оправки с резцом и заготовки увязаны между собой как вращение сопрягаемого червяка и червячного колеса. Кроме того, оправка с резцом имеет тангенциальную подачу, а следовательно, заготовка должна получить дополнительное вращение.

Способ малопроизводителен (оставлен один резец вместо зубьев червячной фрезы), так как приходится резко снижать величину тангенциальной подачи, обеспечивает более низкую точность и более высокую шероховатость поверхности по сравнению с нарезанием червячной фрезой из-за наличия ударной нагрузки резания. Преимущество способа: применение простого инструмента – резца. Зубья нарезанного червячного колеса имеют эвольвентный профиль.

Отделку червячных колес применяют при высоких требованиях к точности и шероховатости поверхности зубьев. Отделочные способы: обработка червяк-шевером и притирка.

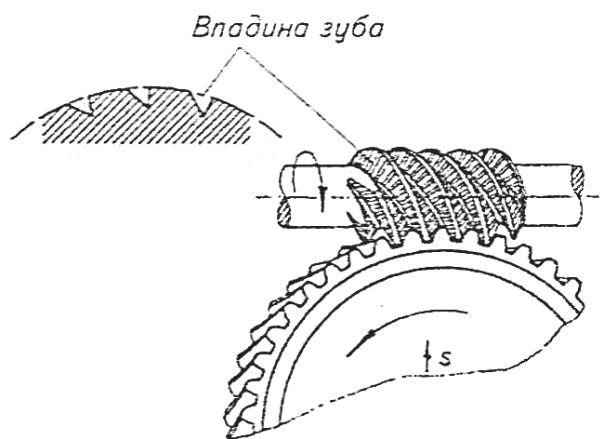


Рис. 14.14. Схема червяка-шевера

Обработку червяк-шевером производят на зубофрезерном станке чаще с тангенциальной подачей. Червяк-шевер (рис. 14.14) представляет собой эвольвентный червяк, на витках которого насечены зубья. Зубья-канавки имеют глубину 1,5...2 мм. Зубья не затылованы и имеют на задней поверхности ленточку

шириной примерно 3 мм с задним углом, равным 0. Червяк-шевер вводят в зацепление с червячным колесом и производят взаимную обкатку с тангенциальной (или радиальной) подачей. Припуск на обработку составляет 0,25...0,3 мм на сторону зуба. Процесс чистовой отделки зубьев червяк-шевером аналогичен процессу шевингования зубчатых колес.

Отделка червяк-шевером может быть самостоятельной операцией. Иногда ее совмещают с чистовым нарезанием зубьев червячной фрезой, работающей с тангенциальной подачей. В этом случае применяют комбинированный инструмент, состоящий из червячной фрезы с заборным конусом и червяк-шевера.

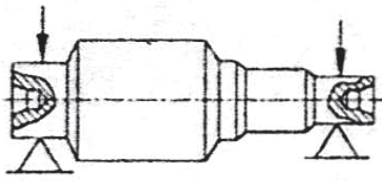
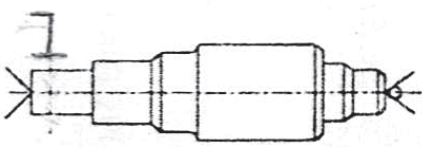
Притирку червячных колес производят притирами в виде червяка, изготовленного из серого чугуна, в процессе взаимной обкатки притира-червяка и червячного колеса при наличии мелкозернистого абразива и масла.

#### 14.5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ЧЕРВЯКОВ И ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС

Технологические схемы обработки червяка (типа вала) сборного червячного колеса приведены в табл. 14.1 и 14.2.

Таблица 14.1

Технологическая схема обработки червяка (типа вала)

Номер операции	Наименование операции	Эскиз установки	Станок
05	Фрезерно-центровальная (фрезеровать и центровать торцы вала с двух сторон)		Фрезерно-центровальный
10	Токарная (точить поверхности одного конца вала)		Токарный (токарный многорезцовый)

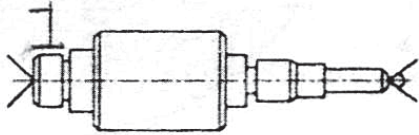
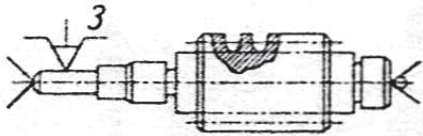
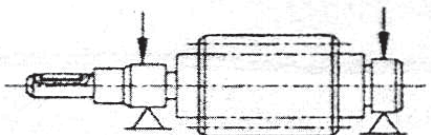
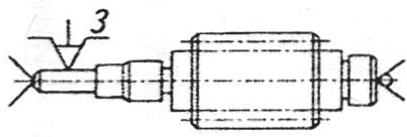
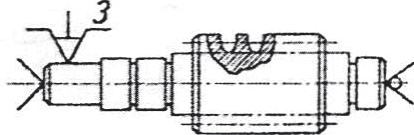
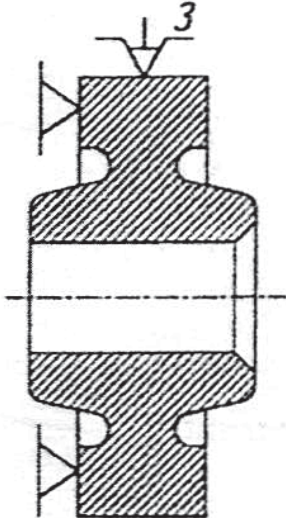
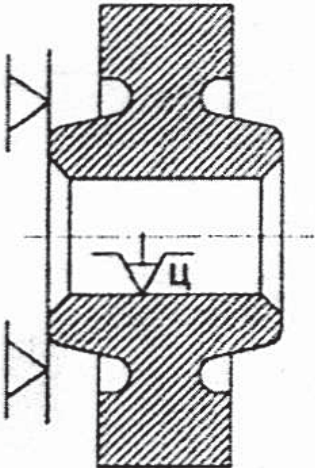
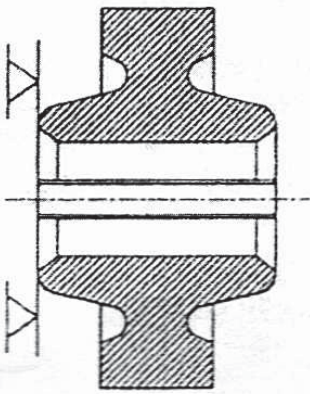


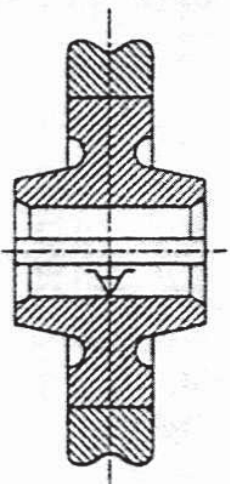
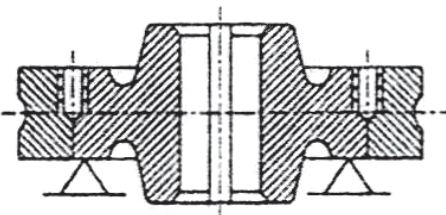
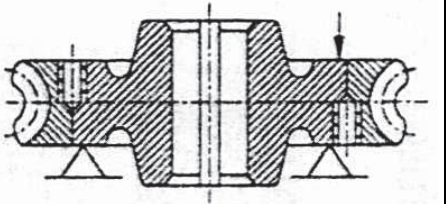
Номер операции	Наименование операции	Эскиз установки	Станок
15	Токарная (точить поверхности второго конца вала)		Токарный (токарный многорезцовый)
20	Резьбофрезерная (фрезеровать витки червяка предварительно специальной дисковой фрезой)		Резьбофрезерный
25	Шпоночно-фрезерная (фрезеровать шпоночную канавку)		Шпоночно-фрезерный
30	Слесарная (запилит заусенцы)	—	Верстак
35	Термообработка (закалка и отпуск)	—	Верстак
40	Круглошлифовальная (шлифовать поверхности шеек)		Круглошлифовальный
45	Резьбошлифовальная (шлифовать профили витков червяка)		Резьбошлифовальный

Таблица 14.2

## Технологическая схема обработки сборного червячного колеса

Номер операции	Наименование операции	Эскиз установки	Станок
05	<p><b>Ступица</b></p> <p>Токарная (расточить и развернуть отверстие, подрезать торец ступицы, снять фаски)</p>		Токарный (токарно-револьверный)
10	<p>Токарная (подрезать торцы венца с двух сторон, торец ступицы, снять фаски, точить по наружному диаметру)</p>		Токарный (многолезцовый)
15	<p>Протяжная (протянуть шпоночный паз)</p>		Протяжной

Номер операции	Наименование операции	Эскиз установки	Станок
05	<b>Венец</b> Токарная (подрезать торец, расточить отверстие начерно и начисто)		Токарный
10	Токарная (подрезать второй торец, точить наружную поверхность, снять фаску)		Токарный
05	<b>Червячное колесо в сборе</b> Прессовая (напрессовать венец на ступицу)		Пресс

Номер операции	Наименование операции	Эскиз установки	Станок
10	Токарная (подрезать торцы ступицы и обода с двух сторон начисто, точить наружную поверхность, выемку и закругления)	—	Токарный (токарный многорезцовый)
15	Сверлильная (сверлить шесть отверстий с двух сторон и нарезать резьбу)		Вертикально-сверлильный
20	Слесарная (ввернуть шесть стопорных шпилек)	—	Верстак
25	Зубофрезерная (нарезать зубья колеса червячной фрезой)		Зубофрезерный
30	Зубофрезерная (отделать зубья колеса червяк-шевером)	—	Зубофрезерный

#### 14.6. КОНТРОЛЬ ЧЕРВЯЧНЫХ ПАР

Контроль червячных пар включает:

- контроль червяков;
- контроль червячных колес;
- проверку по шагу.

**Контроль червяков** (червячных винтов). У червяков проверяют средний диаметр, угол подъема профиля винта и шаг винтовой линии (осевой шаг), concentricity оси червяка с осью его шеек. Средний диаметр червяка проверяют методом трех калиброванных роликов аналогично проверке резьбы методом трех проволоочек с использованием микрометра с плоскими наконечниками.



Угол подъема профиля проверяют при помощи шаблона или специальным прибором.

Осевой шаг измеряют на специальном измерительном приборе, на котором червяк устанавливают в центрах, а по направляющим перемещается суппорт с прибором (рис. 14.15). Прибор имеет жесткий упор 1 и измерительный наконечник 2.

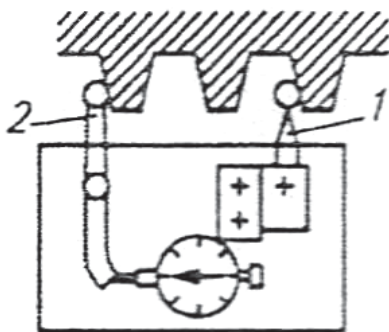


Рис. 14.15. Схема контроля точности червяка по шагу

Концентричность оси червяка с осью его шеек устанавливают с помощью тех же калиброванных роликов (рис. 14.16).

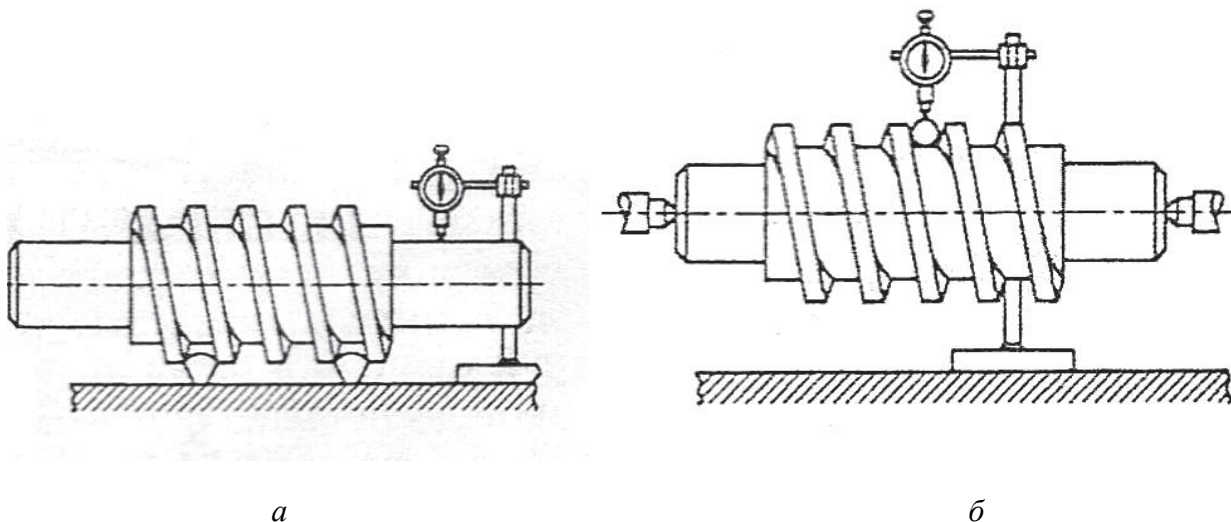


Рис. 14.16. Схема проверки концентричности среднего диаметра червяка с осью его шеек:

а – с помощью калиброванных роликов; б – установка в центрах

**Контроль червячных колес** чаще всего производят путем проверки правильности зацепления с эталонным (точно изготовленным) червяком на специальном приспособлении. Здесь проверяют диаметр делительной

окружности, правильность пятна контакта на краску по эталону, кинематическую погрешность колеса.

**Проверку по шагу** производят шагомером для крупных колес и специальным прибором – для средних и мелких колес.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Назовите материалы и заготовки для червяков и червячных колес.
2. Как классифицируют червяки?
3. Какие существуют способы нарезания цилиндрических червяков?
4. Назовите оборудование, на котором можно нарезать глобоидные червяки.
5. Перечислите методы нарезания зубьев червячных колес.
6. Перечислите методы отделки зубьев червячных колес.
7. По каким параметрам производят контроль червяков и червячных колес?



## 15. ОБРАБОТКА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

### 15.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ. ЗАГОТОВКИ. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Корпусные детали – литые или сварные детали коробчатого типа разнообразной формы (с точными отверстиями под опоры), внутри которых размещают узлы и детали машины (механизма) (рис. 15.1).

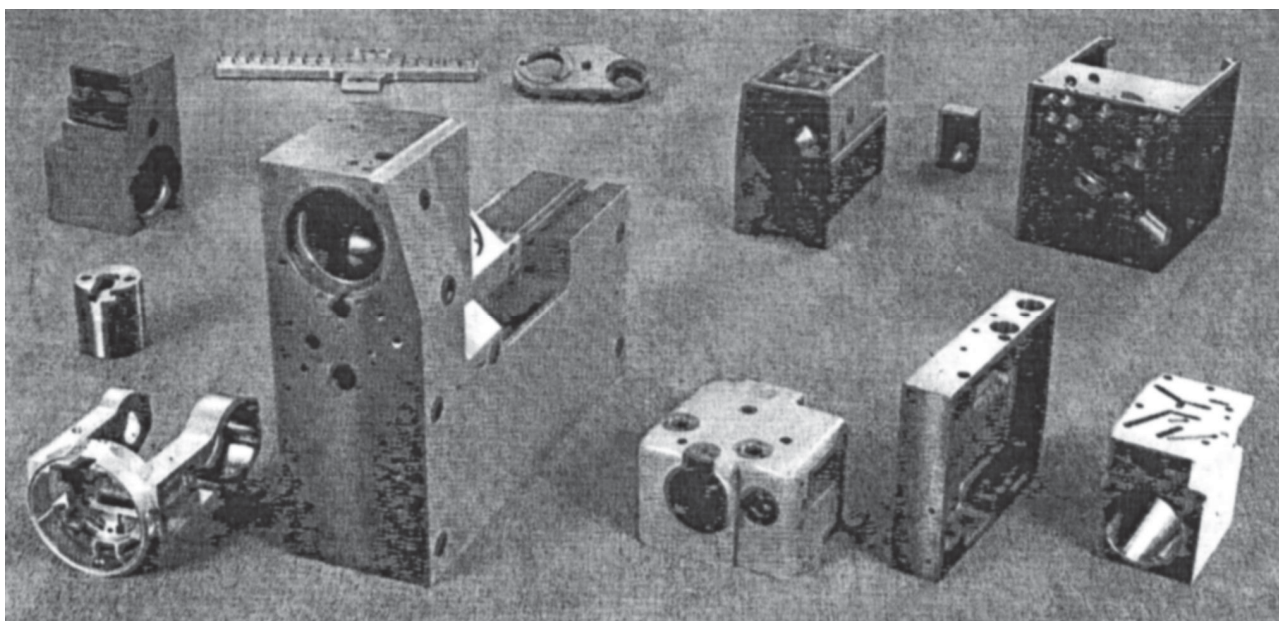


Рис. 15.1. Разнообразные корпусные детали

По размерам и массе корпусные детали разбиты на четыре группы.

К группе К (крупным) деталям отнесены корпусные детали, чей наибольший габаритный размер  $l > 700$  мм при одном или двух прочих размерах  $b$  или  $h$  больше 0,31. Это соотношение относится ко всем четырем группам корпусных деталей. Для обработки таких деталей требуются крупногабаритные станки и подъемно-транспортные устройства для установки деталей на станке.

К группе С (средние) относятся корпусные детали с габаритными размерами  $l = 360 \dots 700$  мм при массе  $G = 10 \dots 40$  кг.

В группу Н (небольшие) включены корпусные детали с габаритными размерами  $l = 150 \dots 360$  мм при массе  $G = 2 \dots 10$  кг.

К группе М (мелкие) отнесены корпусные детали с  $l < 150$  мм, массой  $G < 2,0$  кг.

Заготовками для корпусных деталей чаще всего служат отливки из серого чугуна СЧ15, СЧ20. Малонагруженные детали типа крышек, плит, поддонов отливают из серого чугуна СЧ10, блоки цилиндров, головки блоков разных двигателей – из СЧ20, СЧ25 и алюминиевых сплавов АЛ4, АЛ9. Значительно реже корпусные детали отливают из стали и ковкого чугуна. Так, корпус редуктора пресса для изготовления силикатного кирпича производят из ковкого чугуна с учетом возникновения значительных нагрузок при движении и возможности ударов о почву. Картеры задних мостов автомобилей делают из стали 40Л.

Часто корпусные детали служат для размещения зубчатых колес, червячных пар, которые располагаются на валах в подшипниковых опорах. Отверстия под подшипники в корпусных деталях часто выполняют по 6...7-му квалитетам точности, шероховатость поверхности не ниже  $Ra_{2,5}$  мкм (6-й класс шероховатости поверхности). Кроме этого, приходится выдерживать определенные допуски на параллельность отверстий, расстояние между ними и др. В корпусных деталях задают также размеры, определяющие положение осей отверстий по отношению к конструктивным базовым поверхностям, которые служат для крепления корпусной детали к изделию.

Для удобства изготовления (в частности, сборки) корпусные детали иногда состоят из двух частей (например, коробки редуктора и крышки редуктора). В этом случае отверстия обрабатывают (растачивают) после соединения этих частей, для чего окончательно обрабатывают присоединительные плоскости у каждой части и сверлят крепежные отверстия. Чтобы половинки не могли сдвинуться при сборке или в процессе эксплуатации, их дополнительно крепят между собой контрольными штифтами.

Соединительные плоскости двух половинок обрабатывают с шероховатостью поверхности  $Ra_{10...2,5}$  мкм (4...6-й класс).

## 15.2. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ

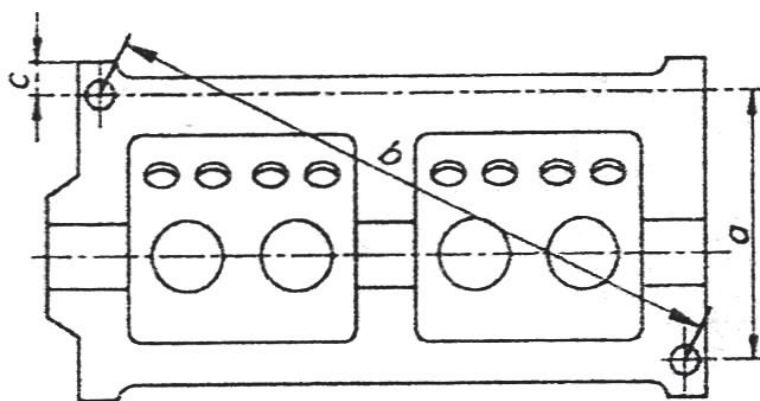
Обработка корпусных деталей в основном состоит из обработки плоскостей и обработки отверстий.

### 15.2.1. Способы базирования

При механической обработке корпусных деталей обычно применяют следующие способы базирования:

- по плоскости и двум технологическим отверстиям, расположенным на данной плоскости;
- по трем базовым поверхностям, расположенным перпендикулярно друг другу;
- по поверхности вращения (внутренние или наружные) и плоскости, перпендикулярной оси вращения.

Вследствие разнообразия конфигураций корпусных деталей встречаются и другие способы базирования.



При первом способе базирования отверстия имеют 6...8-й квалитет точности, их получают сверлением и развертыванием. Располагают отверстия на детали по диагонали с возможно максимальным расстоянием между ними.

Рис. 15.2. Схема расположения установочных отверстий в нижней плоскости корпусной детали:  
 $a$ ,  $b$ ,  $c$  – координаты установочных отверстий

На рис. 15.2 приведена схема установочных отверстий в нижней плоскости блока цилиндров. Такой метод базирования позволяет надежно закреплять детали в процессе обработки, точно координировать их положение относительно шпинделей станков, применять одностипные приспособления на большинстве операций.

К недостаткам первого способа базирования можно отнести быстрый износ установочных пальцев; для удлинения их срока службы применяют

хромирование. При заготовках из алюминиевых сплавов в процессе многих операций происходит износ базовых отверстий и потеря точности базирования. В этом случае в установочные отверстия заготовки запрессовывают стальные втулки, иногда остающиеся в изделии.

Базирование по плоскости и двум отверстиям позволяет совместить технологическую базу с измерительной, т. е. выдержать правило единства баз. В этом случае необходимо, чтобы размеры основных отверстий корпусной детали были привязаны к плоскости основания, т. е. технологической базе.

Второй способ базирования по трем базовым взаимоперпендикулярным плоскостям используют при обработке крупных и тяжелых заготовок, когда их установка на пальцы с помощью крана затруднена из-за возникающих перекосов детали.

Третий способ базирования применяют для фланцевых корпусных деталей (рис. 15.3). Для предотвращения поворота около своей оси детали фиксируют установочными штифтами со срезанными боками.

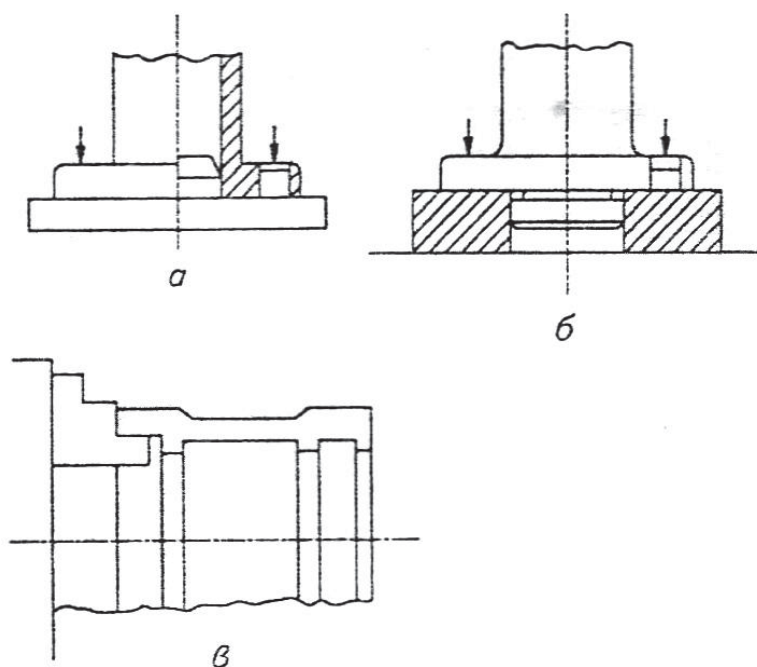


Рис. 15.3. Схемы базирования фланцевых корпусных деталей: а, б, в – варианты

### 15.2.2. Обработка плоских поверхностей

Обработку плоскостей осуществляют в индивидуальном и мелкосерийном производстве на фрезерных и строгальных станках по разметке; в серийном производстве – на фрезерных станках; крупносерийном и массовом производстве – на вертикально-, продольно-, карусельно-, барабанно-фрезерных и протяжных станках. Во всем мире широко используются

многоцелевые станки (обрабатывающие центры), способные обработать все необходимые поверхности (плоские, криволинейные, отверстия) за один установ, кроме базовых (закрытых для обработки поверхностей). Многоцелевой станок имеет достаточно большой набор режущего инструмента (40...60 наименований) (рис. 15.4), находящегося в магазине инструментов различной конструкции (рис. 15.5).

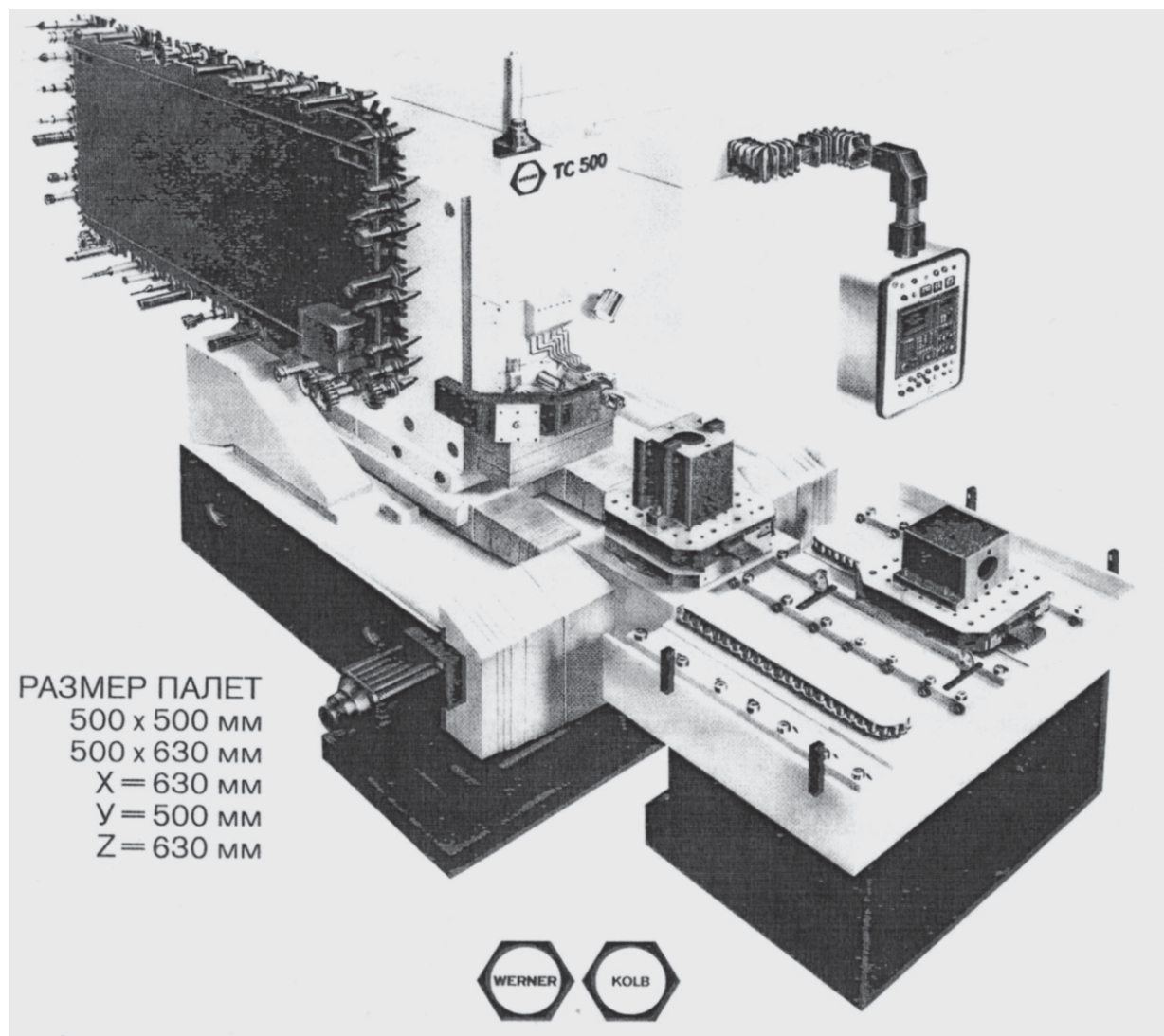


Рис. 15.4. Многоцелевой станок

В зону обработки режущий инструмент, а на последних моделях станков – и измерительные модули, перемещаются с помощью автооператоров (промышленных роботов) (рис. 15.6). Оператору-станочнику остается наблюдать за процессом обработки заготовки (рис. 15.7).



Использование многоцелевых станков позволяет:

- осуществить почти все процессы обработки: точение, сверление, зенкерование, развертывание, фрезерование, нарезание резьбы;
- обеспечить в некоторых моделях обрабатывающих центров до 500000 различных положений инструмента относительно обрабатываемых поверхностей;

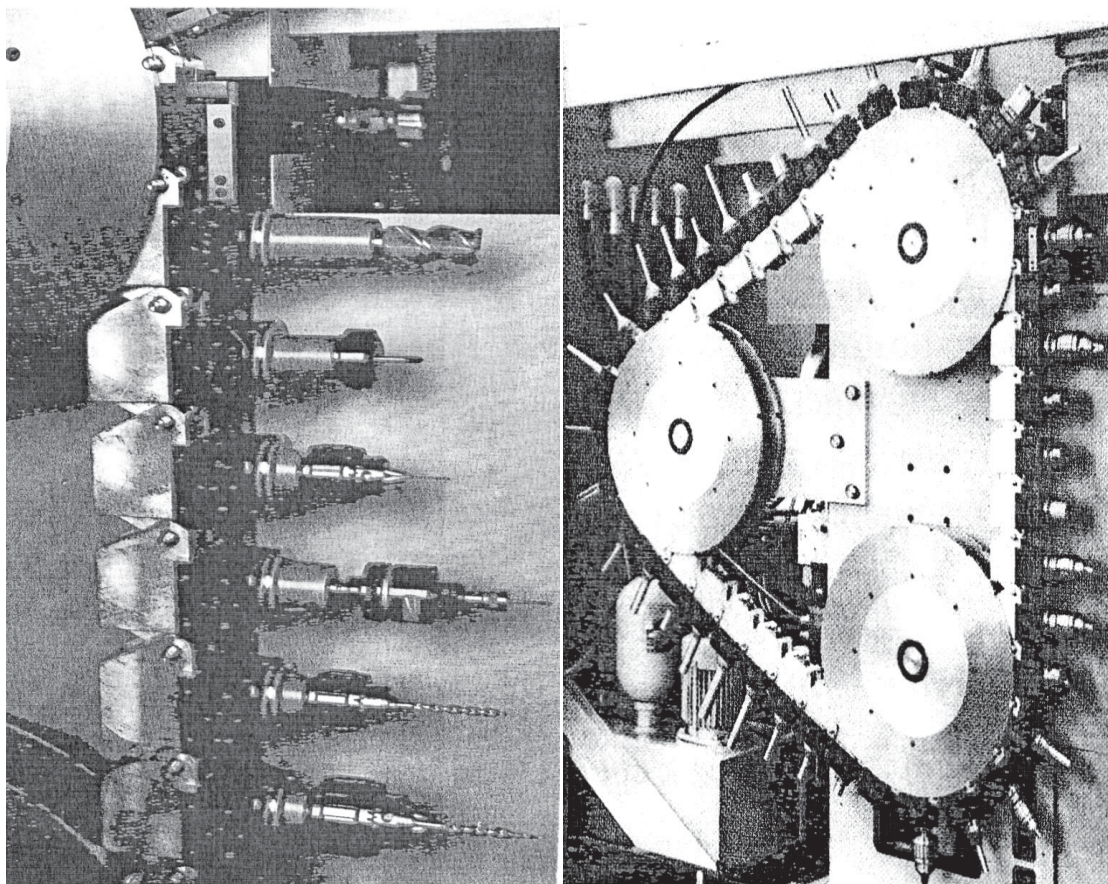


Рис. 15.5. Быстродействующие устройства смены инструментов

- повысить производительность труда за счет резкого сокращения затрат на вспомогательное и подготовительно-заключительное время;
- сократить время на контрольные операции, используя измерительные модули;
- использовать многостаночное обслуживание;
- обработать все поверхности заготовки, кроме базовых, по которым производится установка и закрепление;



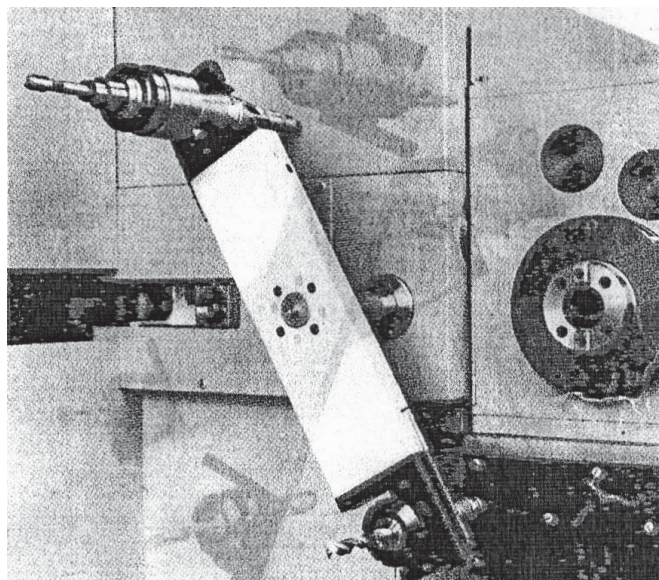


Рис. 15.6. Автооператор во время смены инструмента

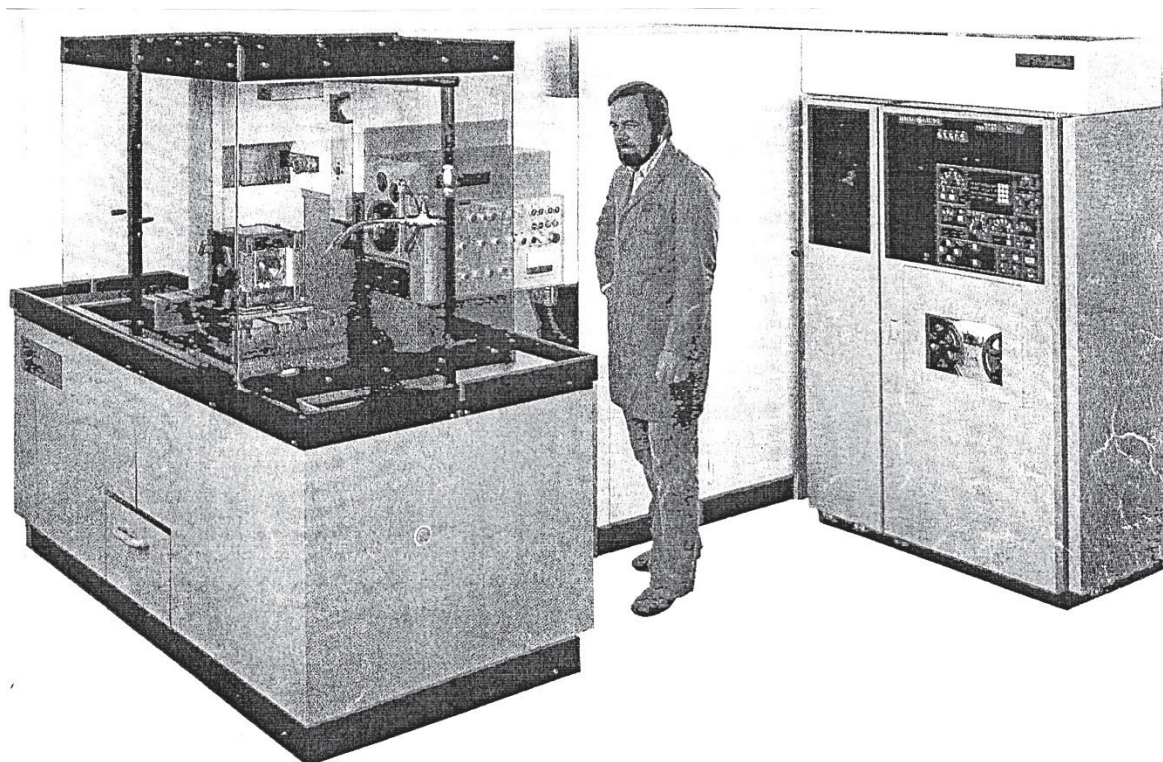


Рис. 15.7. Идет процесс обработки заготовки

– приблизить весь процесс обработки к так называемой «облачной технологии», когда весь производственный процесс будет управляться от общей ЭВМ.

### ***Обработка плоских поверхностей строганием и долблением***

Строгание производится на продольно-строгальных и поперечно-строгальных станках. При строгании на продольно-строгальных станках стол с закрепленной на нем обрабатываемой деталью (или деталями) совершает возвратно-поступательное движение. Подача в поперечном направлении придается резцу путем перемещения резцового суппорта, которое осуществляется прерывисто после каждого рабочего хода. Стружка снимается во время хода стола в одном направлении, т. е. рабочего хода. Обратный (холостой ход) совершается со скоростью, в 2 – 3 раза большей, чем скорость рабочего хода, тем не менее потеря времени при холостых ходах делает строгание менее производительным способом обработки, чем другие способы.

Схема строгания плоскости представлена на рис. 15.8.

На поперечно-строгальных станках возвратно-поступательное движение имеет резец, который закреплен в суппорте ползуна. Обрабатываемая деталь, закрепляемая на столе станка, получает поперечную подачу благодаря прерывистому перемещению стола в поперечном направлении после каждого рабочего хода.

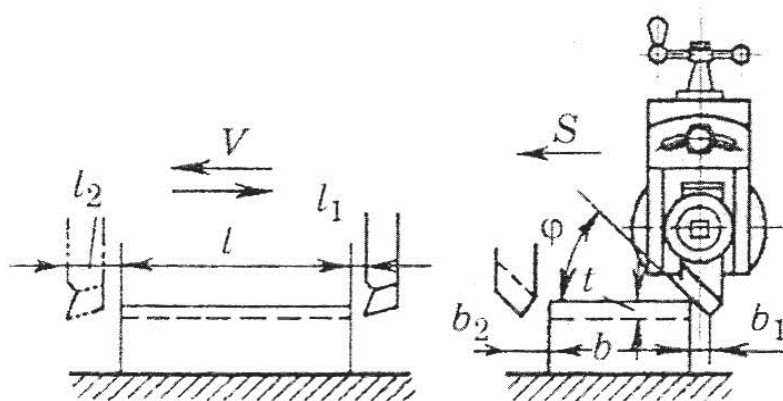


Рис. 15.8. Схема строгания плоскости

Продольно-строгальные станки изготавливаются одностоечными и двухстоечными, с одним, двумя и четырьмя суппортами. Одностоечные строгальные станки применяются для обработки деталей, которые не помещаются полностью на столе станка и выступают за его пределы.

Продольно-строгальные и поперечно-строгальные станки широко применяются в единичном, мелко- и среднесерийном производстве вследствие



их универсальности, простоты управления, достаточной точности обработки и меньшей цены по сравнению с фрезерными станками.

На долбежных станках, относящихся к классу строгальных, долбяк с закрепленным в нем резцом совершает возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости. Стол станка, на котором закрепляется обрабатываемая деталь, имеет движение подачи в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Долбежные станки применяются в единичном производстве для получения шпоночных канавок в отверстиях, а также для обработки квадратных, прямоугольных и других форм отверстий. Для этих работ в серийном и массовом производстве применяют протяжные станки.

Строгание, так же как и точение, разделяется на черновое и чистовое. Чистовое строгание производится с малой подачей или резцами с широким лезвием.

При строгании крупных литых и сварных деталей особое значение имеет правильность закрепления их на столе станка. Необходимо избегать при закреплении деформации детали, так как в противном случае после окончания обработки и освобождения детали от прижимов она примет свою первоначальную форму и обработанная поверхность окажется искривленной.

Наличие внутренних напряжений в отливках сильно отражается на точности строгания. Когда при строгании удаляется поверхностный слой металла, равновесие внутренних напряжений нарушается и деталь деформируется. Для устранения или уменьшения внутренних напряжений стальные детали подвергают отжигу, а чугунные отливки – искусственному или естественному старению.

Основное время в минутах для строгальных работ на продольно-строгальных станках определяется также по основной формуле, причем значение  $l$  равно длине обработки в направления подачи. Так как в строгальных

станках подача идет поперек направлению строгания, т. е. по ширине детали, то в этом случае  $l$  будет обозначать ширину строгания, которая сложится из ширины строгаемой поверхности, врезания и боковых сходов резца. В данном случае основная формула примет вид

$$t_0 = \frac{(b + b_1 + b_2) \cdot i}{n \cdot s},$$

где  $b$  – ширина строгаемой поверхности, мм;  $b_1$  – врезание резца, мм;  $b_2$  – боковые сходы резца, мм;  $i$  – число ходов;  $n$  – число двойных ходов стола, мин<sup>-1</sup>;  $s$  – подача резца за один двойной ход стола, мм.

### ***Обработка плоских поверхностей фрезерованием***

При фрезеровании поверхность обрабатывается не однолезвийным инструментом-резцом, как при строгании, а многолезвийным вращающимся инструментом-фрезой. Подача осуществляется путем перемещения обрабатываемой детали, закрепленной на столе станка. Фреза получает вращение от шпинделя станка.

Плоские поверхности можно фрезеровать торцевыми и цилиндрическими фрезами. Фрезерование торцевыми фрезами более производительно, чем цилиндрическими. Это объясняется тем, что при торцевом фрезеровании происходит одновременное резание металла несколькими зубьями, причем возможно применение фрез большого диаметра с большим числом зубьев.

Фрезерование цилиндрическими фрезами производится двумя способами. Первый способ – встречное фрезерование (рис. 15.9, а), когда вращение фрезы направлено против подачи.

Второй способ – попутное фрезерование (рис. 15.9, б), когда направление вращения фрезы совпадает с направлением подачи.

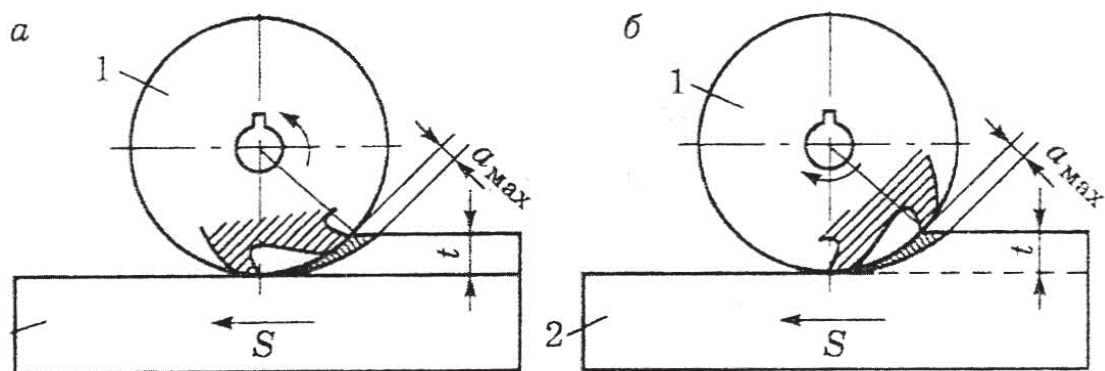


Рис. 15.9. Схемы фрезерования: *а* – встречное; *б* – попутное; 1 – фреза; 2 – заготовка

При первом способе фрезерования толщина стружки постепенно увеличивается при резании металла каждым зубом фрезы, достигая величины  $a_{\max}$ . Перед началом резания происходит небольшое проскальзывание режущей кромки зуба по поверхности резания, что вызывает наклеп обработанной поверхности и затупляет зубья.

При втором способе фрезерования толщина стружки постепенно уменьшается, благодаря чему производительность может быть выше, а качество обработанной поверхности лучше, чем при первом способе. Однако при втором способе фрезерования зуб фрезы захватывает металл сразу на полную глубину резания и, таким образом, резание происходит с ударами. Поэтому второй способ фрезерования можно применять только для работы на станках с большой жесткостью конструкции и устройством для устранения зазоров в механизмах подачи. По этой причине первый способ фрезерования применяется чаще, чем второй.

Фрезерные станки разделяются на следующие виды: горизонтально-фрезерные, вертикально-фрезерные, универсально-фрезерные, продольно-фрезерные, карусельно-фрезерные, барабанно-фрезерные и специальные.

Фрезерные станки первых трех видов являются станками общего назначения и применяются во всех типах производства, а остальные относятся к высокопроизводительным и применяются в серийном и, преимущественно, крупносерийном и массовом производстве.

На горизонтально-фрезерных и вертикально-фрезерных станках можно устанавливать на стол станка 3 одну деталь 1 или несколько деталей рядами, обрабатывая их фрезами 2 одновременно или последовательно (рис. 15.10).

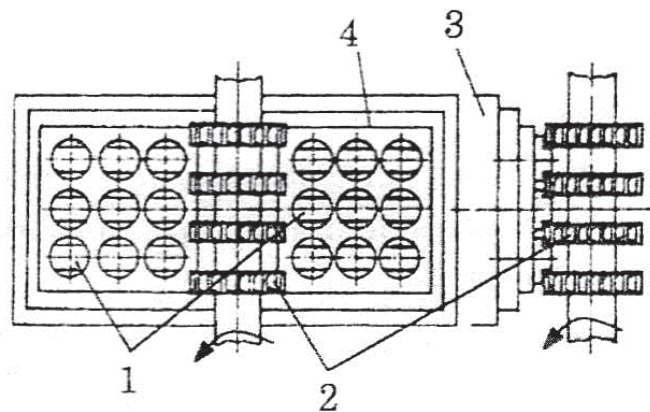


Рис. 15.10. Фрезерование деталей, установленных рядами: 1 – обрабатываемые детали; 2 – набор фрез; 3 – стол станка; 4 – приспособление

На рис. 15.11, а показано фрезерование деталей торцевой фрезой на вертикально-фрезерном станке так называемым методом маятниковой подачи (подача в обе стороны), при

этом вспомогательное время затрачивается только на передвижение стола 3 на длину расстояния между деталями. Применение этого метода может значительно повысить производительность станка.

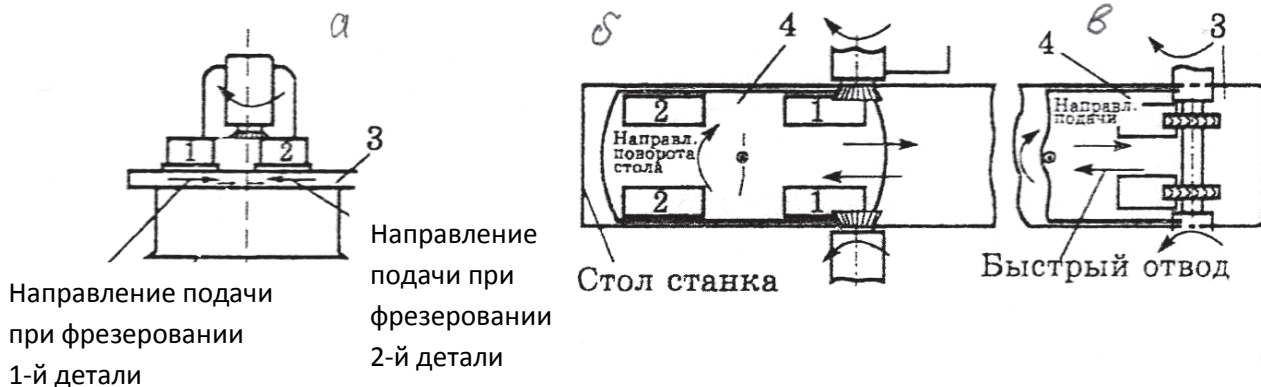


Рис. 15.11. Производительные методы фрезерования: 1, 2 – обрабатываемые детали; 3 – стол станка; 4 – поворотный стол

Универсально-фрезерные станки в отличие от горизонтально-фрезерных имеют поворотный стол, которому можно придавать положение в горизонтальной плоскости под углом к оси шпинделя. Это дает возможность фрезеровать винтовые поверхности при использовании универсальной делительной головки.

Продольно-фрезерные станки бывают с горизонтальными и вертикальными шпинделями в различном сочетании с одним горизонтальным

или с одним вертикальным шпинделем; с двумя горизонтальными; с двумя горизонтальными и одним вертикальным; с двумя горизонтальными и двумя вертикальными. Такие станки бывают больших размеров (с ходом стола до 8 м, а иногда и более), и их применяют для обработки крупных деталей одновременно с двух или трех сторон.

На рис. 15.11 (б и в) показано высокопроизводительное фрезерование на продольно-фрезерном и горизонтально-фрезерном станках с применением поворотного стола 4, благодаря которому смена обработанных деталей 1, 2 производится во время фрезерования, а вспомогательное время затрачивается только на обратный отвод стола и его поворот, что не превышает 0,2...0,5 минуты на две детали.

Карусельно-фрезерные станки имеют круглые вращающиеся столы большого диаметра и один (рис. 15.12, а) или два (рис. 15.12, б) вертикально расположенных шпинделя. На этих станках обрабатываются плоские поверхности торцевыми фрезами. Детали устанавливают для обработки и снимают их по окончании обработки во время вращения стола, т. е. детали обрабатываются непрерывно. Если на станке установлено два шпинделя, то одним шпинделем производится черновая обработка, другим – чистовая (рис. 15.12, б). Такие станки применяют в крупносерийном и массовом производстве.

Барабанно-фрезерные станки служат для обработки параллельных плоскостей

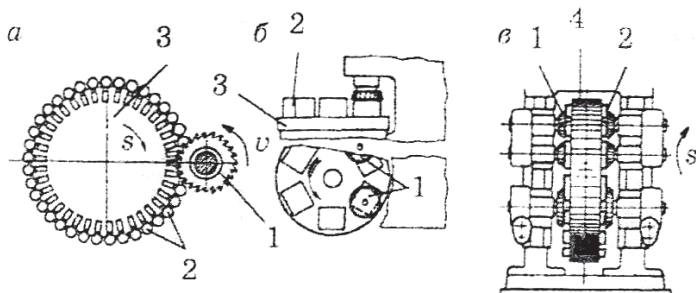


Рис. 15.12. Примеры фрезерования деталей на фрезерных станках: а – карусельно-фрезерном с одним шпинделем; б – карусельно-фрезерном с двумя шпинделями; в – барабанно-фрезерном; 1 – фрезы; 2 – обрабатываемые детали; 3 – стол станка; 4 – барабан

детали одновременно с двух сторон (рис. 15.12, в). Детали 2, подлежащие обработке, устанавливают на барабан 4, который вращается внутри станины, имеющей порталную форму. Фрезы 1 помещены на расположенных с двух сторон четырехшпиндельных бабках, с

каждой стороны по две. Одна фреза с каждой стороны производит черновое фрезерование, другая – чистовое.

На этих станках детали устанавливают и снимают на ходу станка, и, таким образом, фрезерование идет непрерывно. Эти станки отличаются большой производительностью и применяются в крупносерийном и массовом производстве.

Фрезерные полуавтоматы и автоматы широко применяются в массовом производстве для фрезерования деталей малых размеров.

Основное время при цилиндрическом (рис. 15.13, а) и торцевом (рис. 15.13, б) фрезеровании определяется по формуле

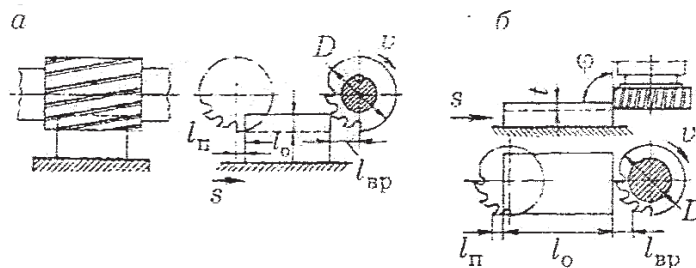


Рис. 15.13. Схемы фрезерования:

а – цилиндрической фрезой; б – торцевой фрезой

$$t_0 = \frac{l \cdot i}{S_M},$$

где  $l$  – расчетная длина обработки фрезой, мм;  $i$  – число ходов;  $S_M$  – подача стола фрезерного станка, мм.

Расчетная длина обработки фрезой определяется по формуле

$$l = l_0 + l_{вр} + l_{п},$$

где  $l_0$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;  $l_{вр}$  – длина врезания;  $l_{п}$  – длина пробегания.

### **Обработка плоских поверхностей протягиванием**

Протягивание наружных плоских поверхностей (как и фасонных) благодаря высокой производительности и низкой себестоимости обработки находит все большее применение в крупносерийном и массовом производстве. Этот метод экономически выгоден, несмотря на высокую себестоимость оборудования и инструмента. Многие операции вместо фрезерования выполняются посредством наружного протягивания. К числу таких операций относится протягивание пазов, канавок, плоскостей блоков двигателей и других

деталей, зубьев шестерен и т. д. При обработке протягиванием наружных черных (предварительно не обработанных) поверхностей за один ход протяжки достигаются высокая точность и низкая высота микрогребешков (шероховатости). В процессе обработки каждый режущий зуб протяжки снимает слой металла, составляющий часть припуска, а калибрующие зубья зачищают поверхность, при этом они долго не теряют своей режущей способности и формы.

При обработке черных поверхностей поковок и отливок более целесообразно применять не обычные плоские протяжки (рис. 15.14, *а*), а прогрессивные (рис. 15.14, *б, в, г*). У обычных плоских протяжек каждый зуб снимает стружку по всей ширине обрабатываемой поверхности, поэтому при обработке черной поверхности, имеющей корку, первые зубья протяжки быстро тупятся или выкрашиваются. Режущие зубья прогрессивных протяжек делают переменной ширины, постепенно увеличивающейся, и каждый режущий зуб срезает металл не по всей ширине обрабатываемой поверхности, а полосой, причем ширина этих полос с каждым зубом увеличивается и только калибрующие зубья зачищают обрабатываемую поверхность по всей ширине.

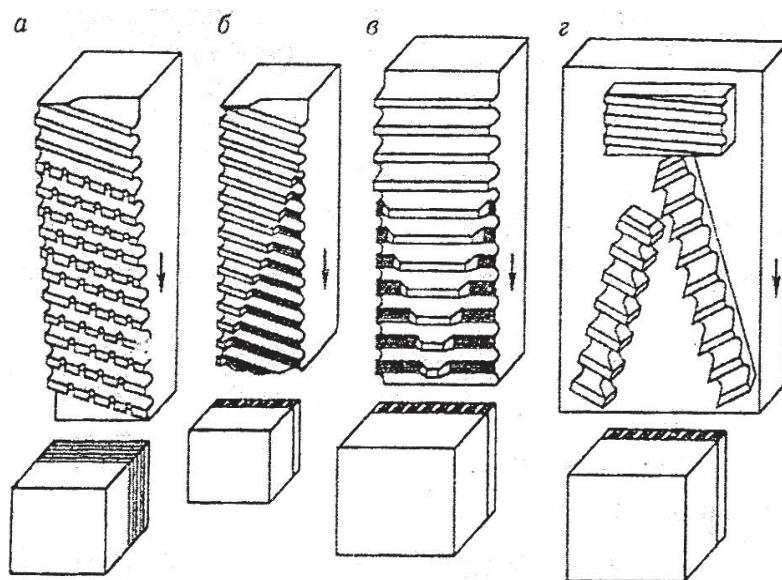


Рис. 15.14. Схемы плоских протяжек:  
*а* – обычные; *б, в, г* – прогрессивные

Для обработки наружным протягиванием широких плоскостей (более 50 мм) устанавливают несколько протяжек рядом.



Протягивание наружных поверхностей производится большей частью на вертикально-протяжных станках – полуавтоматах и автоматах.

На рис. 15.15 показаны детали, поверхности которых обрабатываются наружным протягиванием (обрабатываемые поверхности обозначены буквой *f*).

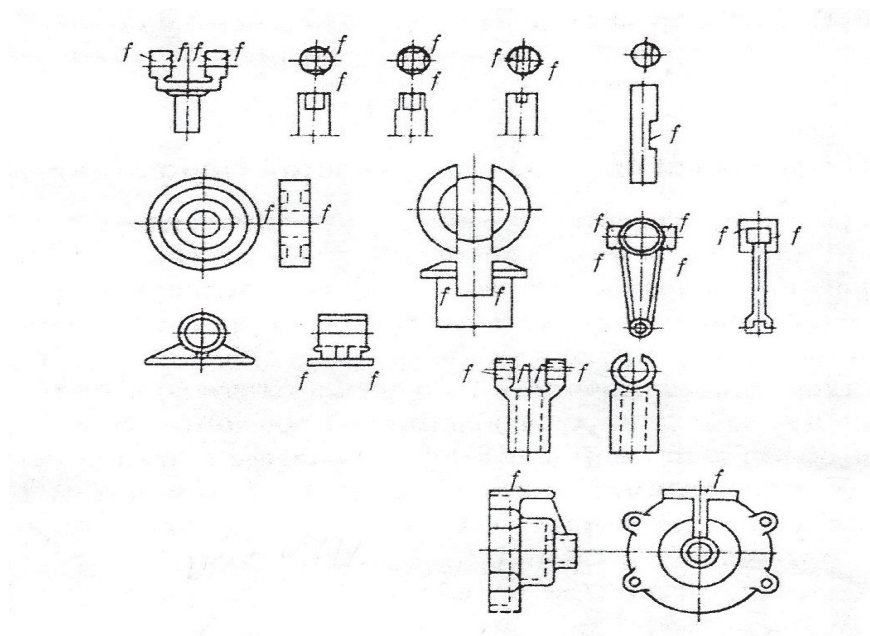


Рис. 15.15. Детали, обрабатываемые протяжками

В массовом производстве применяют высокопроизводительные протяжные станки непрерывного действия. На станках непрерывного действия с карусельным столом (рис.15.16, *а*) или с барабаном (рис. 15.16, *б*) по его окружности в приспособлениях располагаются детали *1*.

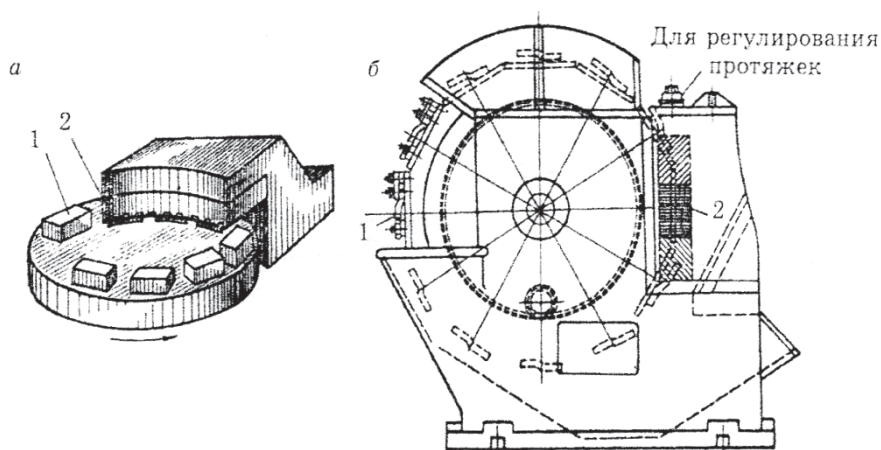


Рис. 15.16. Схемы работы станков для непрерывного протягивания:  
*а* – с карусельным столом; *б* – с барабаном: *1* – обрабатываемые детали; *2* – протяжка

Стол или барабан при вращении перемещает детали мимо протяжек *2*, которые обрабатывают поверхности деталей.



### ***Обработка плоских поверхностей шлифованием***

Шлифование плоских поверхностей применяется как для обдирочной, так и для черновой и чистовой обработки. Обдирочное шлифование плоскостей может быть предварительной или окончательной операцией, если не требуется высокой точности и небольшой высоты микрогребешков.

Припуск для обдирочного шлифования должен быть значительно меньше, чем для фрезерования и строгания. При больших припусках обдирочное шлифование оказывается неэкономичным. Обдирочное шлифование плоскостей применяется в том случае, когда наличие твердой корки на поверхности детали либо большая твердость материала затрудняет фрезерование или строгание. Оно применяется также при обработке плоских поверхностей деталей с малой жесткостью.

Обдирочное шлифование применяется для чугунных отливок, поковок и сварных конструкций и реже – для стальных отливок.

Черновое и чистовое шлифование плоскостей производится для получения высокой точности поверхности, когда не представляется возможным достигнуть этого фрезерованием или строганием.

Круги больших диаметров для шлифования изготавливают составными из отдельных частей-брусков и сегментов, прикрепленных к металлическому диску (рис. 15.17). При работе такими кругами уменьшается выделение тепла, улучшается удаление пыли и мелкой стружки, образующихся при шлифовании, повышается безопасность шлифовальных работ.

Чистовое шлифование плоскостей производится мелкозернистыми, большей частью цельными кругами. Шлифование производится торцовой частью или периферией круга. При шлифовании торцовой частью круга применяют круги чашечной или тарельчатой формы. При такой форме круга изнашивается только та часть его, которая находится в соприкосновении с обрабатываемой поверхностью, и поэтому отпадает необходимость править всю поверхность круга. Кроме того, при такой форме различие скоростей вращения отдельных точек торца круга меньше влияет на точность и качество обработки поверхности.

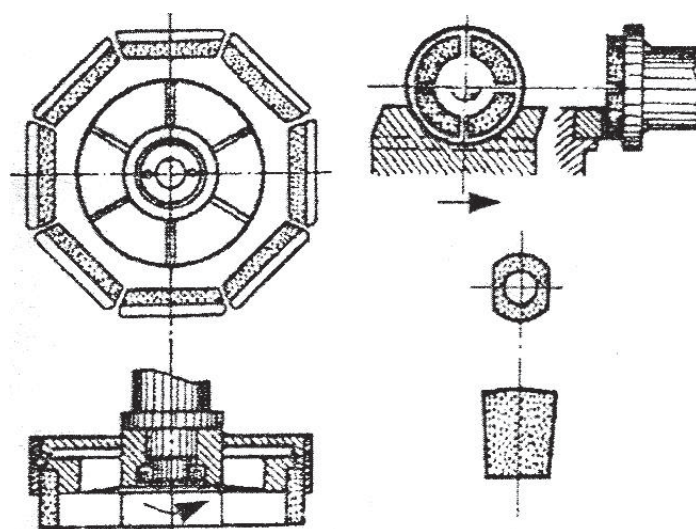


Рис. 15.17. Составные шлифовальные круги

Шлифование торцом круга более производительно, чем шлифование периферией, так как в процессе работы торцом круга большая площадь круга находится в соприкосновении с обрабатываемой поверхностью и большее количество абразивных зерен одновременно работает. Этот способ шлифования обеспечивает достаточно высокую точность, и поэтому он является весьма распространенным.

Шлифование периферией круга менее производительно, но при этом достигается более высокая точность, чем при шлифовании торцом круга. Шлифование периферией круга применяется обычно для окончательной отделки деталей измерительных инструментов, приборов и др.

### ***Отладка плоских поверхностей абразивами и шабрением***

Плоскошлифовальные станки применяются для обдирочного, чернового и чистового (точного) шлифования.

Станки для обдирочного шлифования бывают следующими:

- односторонние (для обработки с одной стороны) – с горизонтальным или вертикальным расположением шпинделя;
- двусторонние (для обработки с двух сторон) с горизонтальным расположением шпинделей (рис. 15.18).

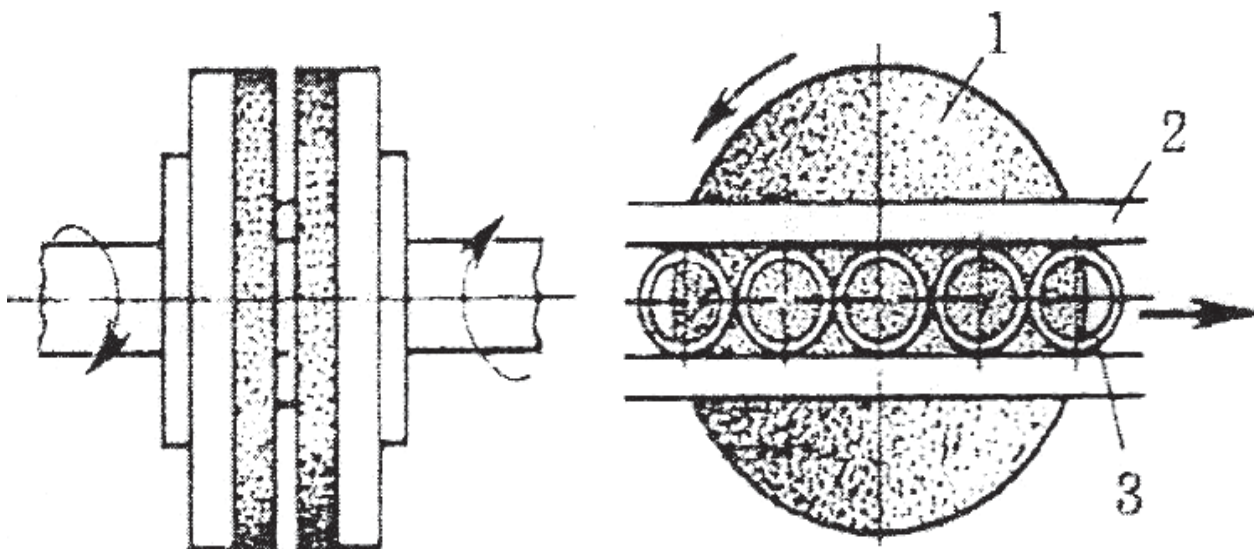


Рис. 15.18. Схема расположения шпинделей у двусторонних станков.  
Для обдирочного шлифования: 1 – круг; 2 – направляющие; 3 – заготовки

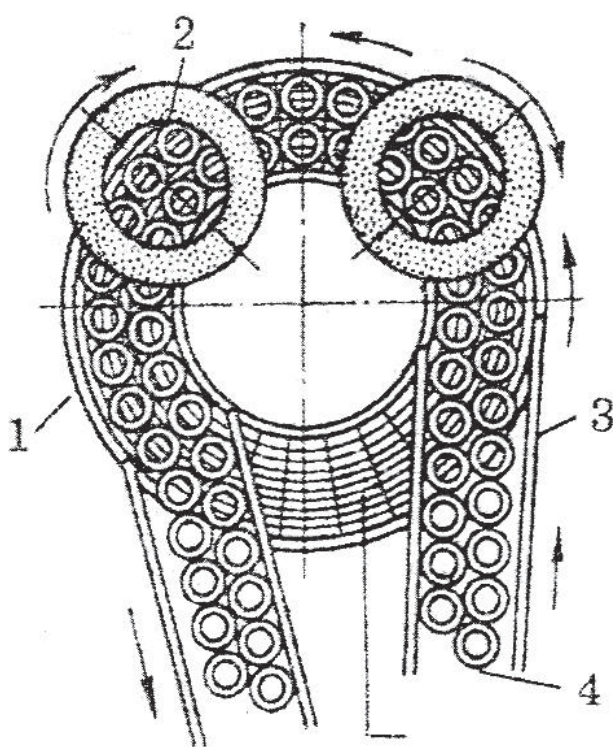


Рис.15.19. Схема работы  
двухшпиндельного  
плоскошлифовального станка:  
1 – стол; 2 – круг;  
3 – направляющие; 4 – заготовки

Станки для чернового и чистового (точного) шлифования применяются для работы торцевой частью круга с прямоугольным и круглым столом; последние бывают одношпиндельными и двухшпиндельными. На рис. 15.19 показана схема работы двухшпиндельного станка с круглым столом.

Для шлифования пластин, торцов колец и других подобных тонких деталей используют плоскошлифовальные станки с магнитным столом или с применением магнитных плит, дающие весьма чистую поверхность и высокую точность.

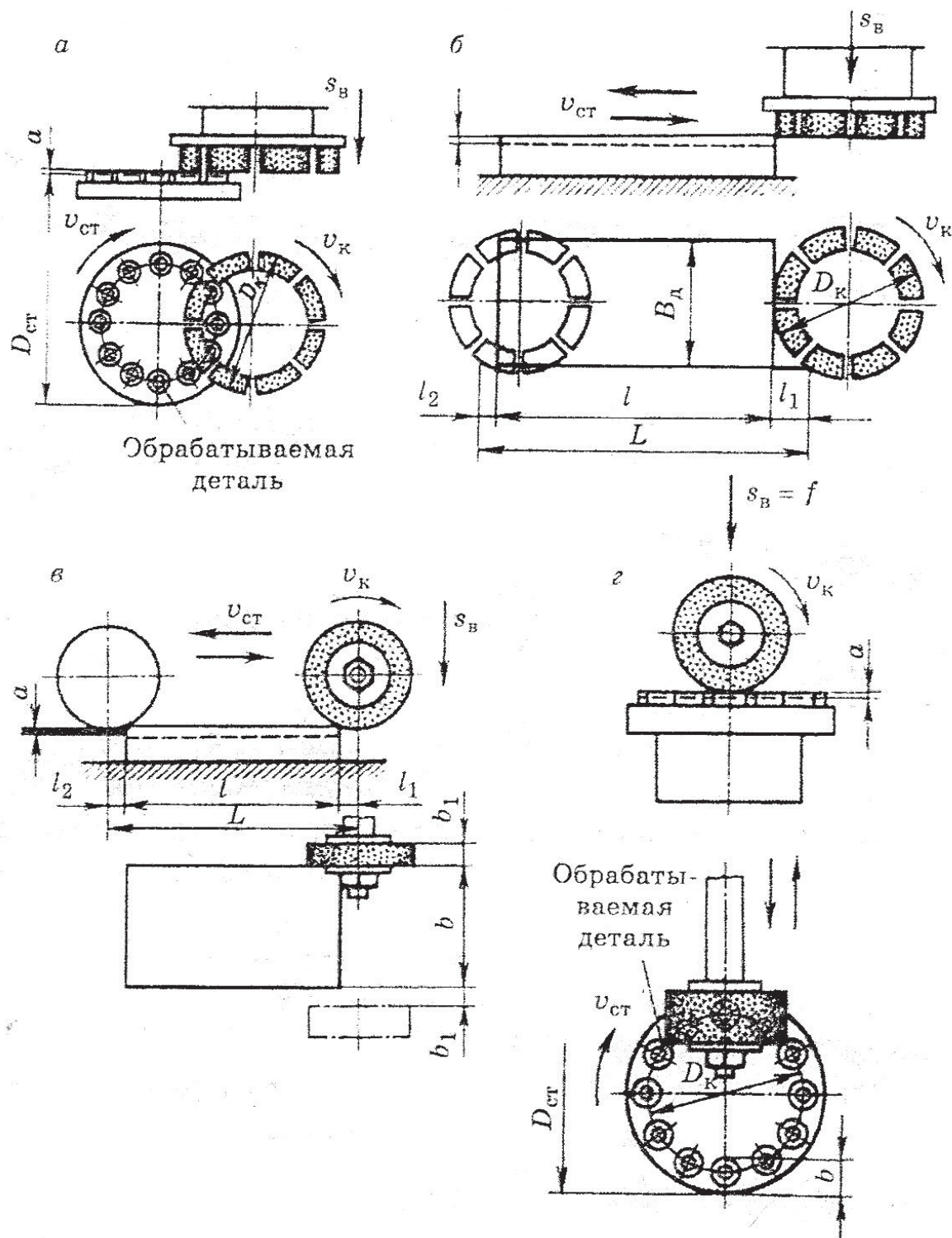


Рис. 15.20. Схема плоского шлифования: *a* – торцом круга на станках карусельного типа; *б* – торцом круга на станках продольного типа; *в* – периферией круга на станках продольного типа; *г* – периферией круга на станках карусельного типа

Основное время для плоского шлифования торцом круга на станках с вращающимся столом (рис. 15.20, *a*) определяется по формуле, мин,

$$t_0 = \frac{a}{s_{\text{в}} n} \cdot \frac{1}{m} \cdot k,$$

где  $a$  – припуск на сторону, мм;  $s_{\text{в}}$  – вертикальная подача круга на один оборот стола, мм;  $n$  – частота вращения стола, мин;  $m$  – количество деталей, одновременно устанавливаемых на столе;  $k$  – коэффициент, учитывающий точность шлифования.

Окончательная чистовая обработка плоских поверхностей – отделка, кроме шлифования, может производиться с применением абразивов доводкой, притиркой, полированием. Отделка плоских поверхностей с применением абразивов производится аналогично отделке наружных цилиндрических поверхностей. Помимо этого, для окончательной чистовой обработки применяется шабрение.

Шабрение плоских поверхностей можно выполнять с помощью шабера вручную или механическим способом.

### ***Особенности обработки плоскостей у крупных литых деталей сложной формы***

При обработке крупных литых деталей сложной формы (например, станин металлорежущих станков или других подобных деталей) возникает вопрос о целесообразности применения строгания или фрезерования.

Прежде всего следует отметить, что при том и другом способе чистовую обработку надо отделять от черновой, потому что станки более продолжительное время сохраняют точность на чистовой обработке и, кроме того, крупные литые детали после черновой обработки подвергаются естественному или искусственному старению.

Хотя фрезерование крупных литых деталей сложной формы является более экономичным по времени, в ряде случаев оказывается целесообразным такие детали не фрезеровать, а строгать.

Затраты на применяемые при строгании станки и инструмент меньше, чем аналогичные затраты при фрезеровании (фрезерные станки изнашиваются значительно быстрее), но при строгании требуется более высокая квалификация рабочих.

При строгании сила резания и нагрев обрабатываемых плоскостей значительно меньше, вследствие чего и деформация обрабатываемых деталей меньше, чем при фрезеровании. Эти преимущества имеют значение при чистовой обработке крупных деталей, тем более что при фрезеровании набором фрез оправки часто прогибаются, поэтому искажается профиль обрабатываемой поверхности, т. е. понижается точность обработки. Черновое фрезерование наборами фрез крупных литых деталей дает экономию времени только при большой партии деталей, так как наладка станка занимает много времени. Применение этого способа обработки ограничивается быстрым затуплением фрез, работающих по корке, а также трудностью заточки набора фрез, размеры которых должны быть точно выдержаны после переточки.

Значительно экономичнее способ фрезерования крупных литых деталей сложной формы торцевыми фрезами. Стойкость инструмента здесь значительно выше, режимы резания более высокие и заточка торцевых фрез проще, чем наборных. Таким образом, фрезерование торцевыми фрезами имеет преимущества перед фрезерованием наборами фрез. По сравнению со строганием этот способ более экономичен вследствие меньшей трудоемкости.

Из всего сказанного можно сделать вывод, что для черновой обработки выгодно применять фрезерование торцевыми фрезами, в особенности при большом объеме выпуска деталей, когда можно рационально использовать многошпиндельные станки.

### 15.2.3. Обработка отверстий корпусных деталей

Обработку отверстий в корпусных деталях производят:

- в единичном и мелкосерийном производстве на горизонтально-расточных и токарных (мелкие детали) станках;
- серийном производстве на горизонтально-расточных и радиально-сверлильных станках;



– крупносерийном и массовом производстве на специальных агрегатных многопозиционных станках и автоматических линиях из агрегатных станков.

Необходимо отметить, что в любом серийном производстве в мире начинают широко использоваться многоцелевые станки (см. рис. 15.4, 15.5).

Расточка отверстий является основным методом обработки при диаметрах отверстий более 100 мм. Существуют следующие основные способы расточки отверстий:

- по разметке;
- с использованием мерных оправок и концевых мер;
- в приспособлениях по кондуктору;
- на специальных многошпиндельных станках.

### ***Расточка по разметке***

Расточку по разметке применяют только в единичном производстве. Она включает предварительную разметку детали 1 (разметка контура и отверстий), обработку плоскостей и отверстий, когда резцы 2 (рис. 15.21) выставляют по обозначенной разметке 3. Точность обработки по этому способу низкая – 0,25...0,5 мм. Кроме того, разметка очень трудоемка, что увеличивает себестоимость обработки.

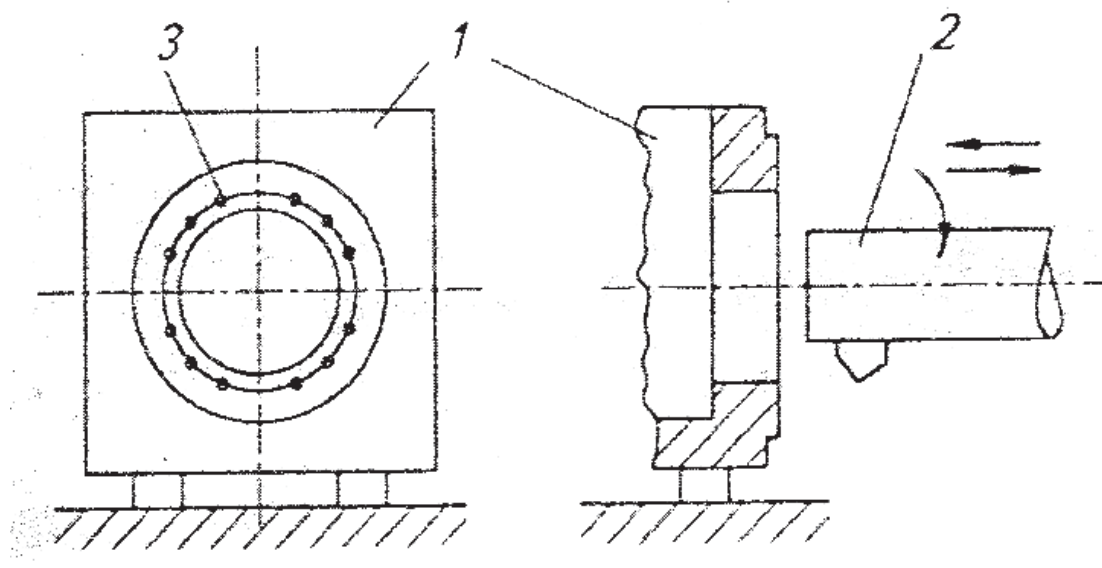


Рис. 15.21. Схема расточки корпусной детали по разметке:  
1 – деталь; 2 – расточная оправка; 3 – разметка

### ***Расточка с использованием мерных оправок и концевых мер***

Расточку с использованием мерных оправок и концевых мер применяют в единичном и мелкосерийном производстве. Она заключается в том, что в шпиндель горизонтально-расточного станка (рис. 15.22) вставляют мерную оправку (имеющую точный диаметр  $d$ ) и выставляют его по концевым меркам  $H_k$ . При этом между мерной оправкой и концевыми мерками оставляют небольшой зазор  $\delta$ , который замеряют щупом. В результате подбора  $H_k$  должно быть выдержано равенство

$$H = H_k + \frac{d}{2} + \delta.$$

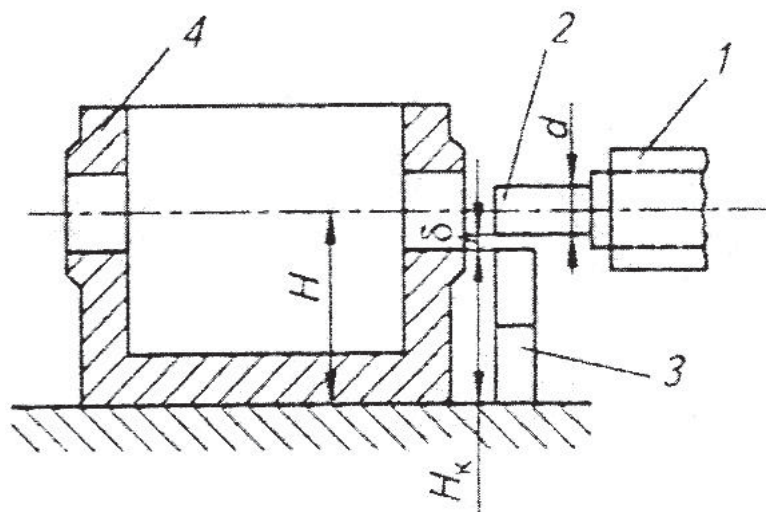


Рис.15.22. Схема расточки отверстий корпусной с использованием мерной оправки и концевых мер: 1 – шпиндель; 2 – мерная оправка; 3 – концевые меры; 4 – деталь

Данный способ позволяет выдержать точность размеров в пределах 0,02...0,04 мм.

### ***Расточка в приспособлениях по кондуктору***

Расточку в расточных кондукторах можно осуществлять на горизонтально-расточных, радиально-сверлильных и специальных многошпиндельных станках в условиях серийного и массового производства.

Применение расточных кондукторов повышает точность обработки, снижает затраты времени на обработку и требования к квалификации рабочего.



На многошпиндельных станках в кондукторах одновременно обрабатывают не одно, а несколько отверстий.

В расточных кондукторах борштанга с резцами (резцом) может иметь одну или две опоры. При двух опорах борштанга соединяется со шпинделем станка через шпиндельную оправку байонетным затвором (рис. 15.23). Примеры расточных и шпиндельной оправок приведены на рис. 15.24, 15.25

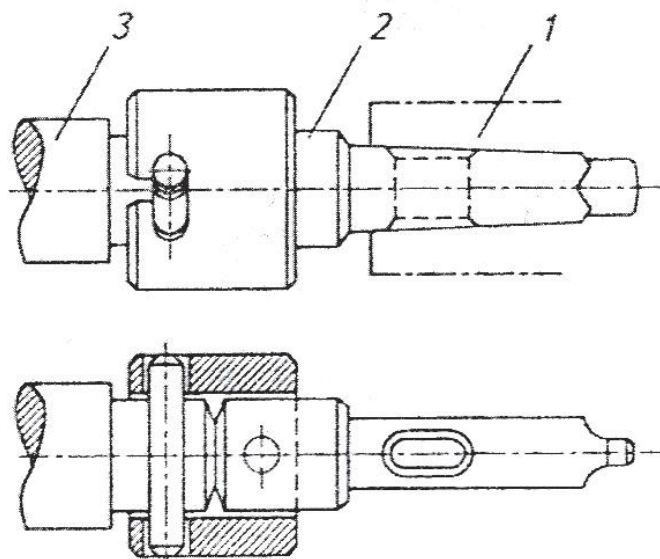


Рис.15.23. Схема соединения шпинделя станка с борштангой:  
1 – шпиндель; 2 – шпиндельная оправка; 3 – борштанга

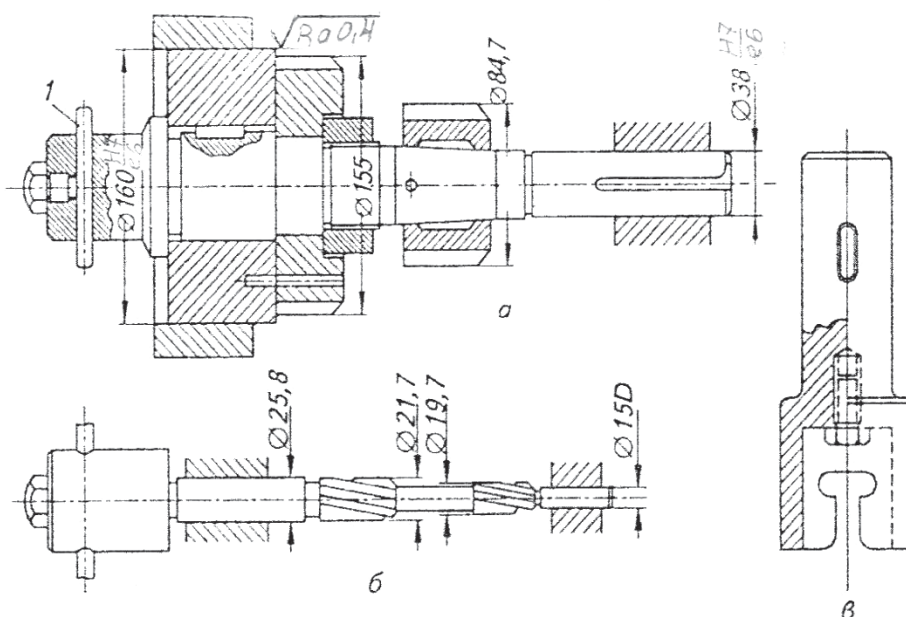


Рис. 15.24. Расточные (а, б) и шпиндельная (в) оправки

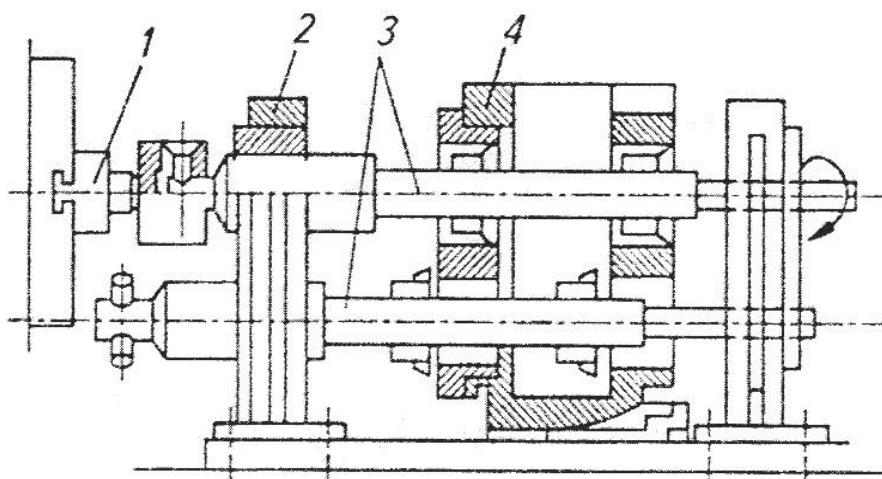


Рис. 15.25. Схема расточки отверстий в корпусной детали по кондуктору:  
 1 – шпиндель расточного станка; 2 – кондуктор; 3 – борштанги;  
 4 – корпусная деталь

### 15.3. СХЕМА ОБРАБОТКИ КОРПУСА ХАРАКТЕРНОЙ ДЕТАЛИ (КОРПУС РЕДУКТОРА)

Механическую обработку корпусных деталей выполняют в следующей последовательности. Сначала обрабатывают наружные поверхности – базовые (поверхности, предназначенные для присоединения или установки корпусной детали к изделию) и параллельные базовым, затем – основные отверстия и наконец – вспомогательные крепежные и др.


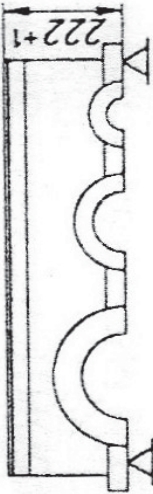
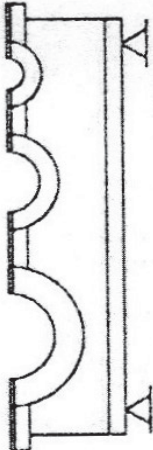
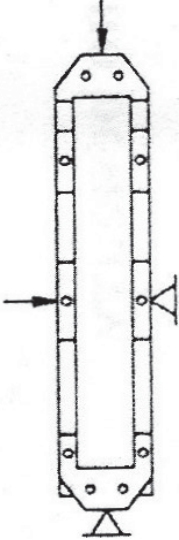
Базовые поверхности часто обрабатывают в две операции – черновую и чистовую. Крепежные отверстия обрабатывают в одну операцию.

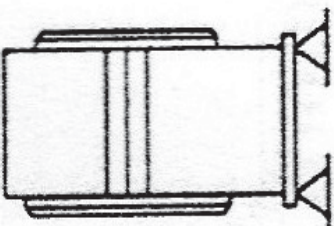
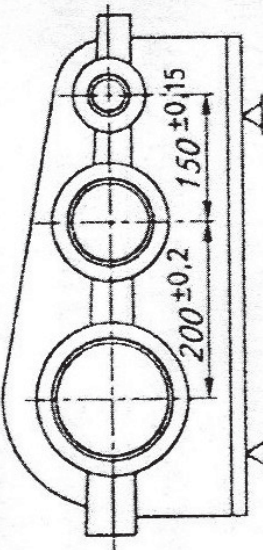
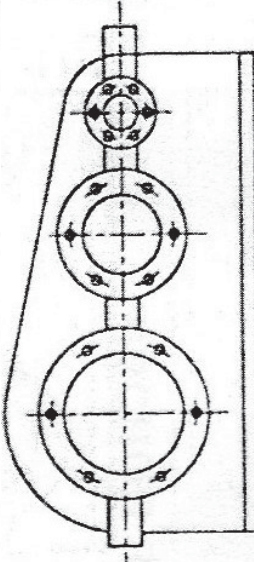
При недостаточной жесткости или высокой точности корпусных деталей в процесс механической обработки после операции черновой обработки включают операцию искусственного старения.

**Технологическая схема обработки корпуса редуктора.** Вначале корпус и крышку обрабатывают раздельно. Затем корпус с крышкой соединяют шпильками и болтами и обрабатывают вместе. В табл. 15.1 приведена технологическая схема обработки корпуса редуктора, в том числе совместно с крышкой коробки. Обработку коробки корпуса начинают с обработки плоскости разъема, базируясь на поверхности прилива, что позволяет выдержать толщину прилива, примерно одинаковую со всех сторон. Затем в качестве технологических баз используют уже обработанные поверхности.

Таблица 15.1

## Технологическая схема обработки корпуса редуктора

Номер операции или позиции	Эскиз операции (установка)	Наименование операции или переходов	Станок	Инструменты, приспособления
1		Фрезерная (черновая)	Продольно-фрезерный	Торцевая фреза, опоры, планки прижимные, болты
2		Фрезерная	Продольно-фрезерный	Торцевая фреза, планки прижимные, болты
3		Фрезерная (чистовая)	Продольно-фрезерный	Торцевая фреза, планки прижимные, болты
4		Сверлильная (сверлить отверстия, зенковать фаски, нарезать резьбу, зенковать плоскости)	Радиально-сверлильный	Сверла, зенковка, метчики, кондуктор, патрон
5		Слесарная (притупить острые углы, установить конические штифты, скрепить крышку с корпусом болтами)	Тиски	Напильники, ключи гаечные, молоток

Номер операции или позиции	Эскиз операции (установка)	Наименование операции или переходов	Станок	Инструменты, приспособления
6		Фрезерная (фрезеровать приливы корпуса)	Продольно-фрезерный	Фрезы торцевые, планки прижимные, болты
7		Расточная (расточить отверстия)	Горизонтально-расточный	Кондуктор, борштанги с резцами, кондукторные оправки
8		Сверлильная (сверлить отверстия, зенковать фаски, нарезать резьбу с одной и с другой стороны редуктора)	Радиально-сверлильный	Сверло, зенковка, метчик, кондуктор, патрон

#### 15.4. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Контроль точности обработки корпусных деталей проводят с помощью специальных оправок, изготовленных для конкретных деталей. В табл. 15.2 приведены основные методы контроля точности обработки корпусных деталей.

Соосность отверстий (позиция 1) проверяют одновременным прохождением оправки через два отверстия.

Расстояние между отверстиями (позиция 2) определяют микрометром (штангенциркулем) и, вычитая из этого размера сумму радиусов валов, получают межцентровое расстояние.

Параллельность осей отверстий определяют по разности измерений расстояний с двух концов оправок (позиция 3).

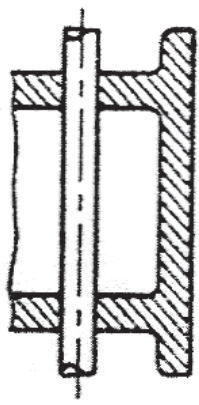
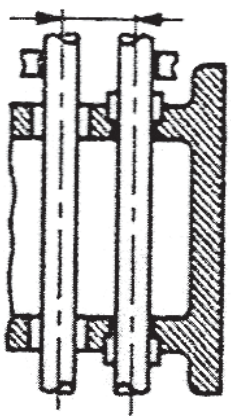

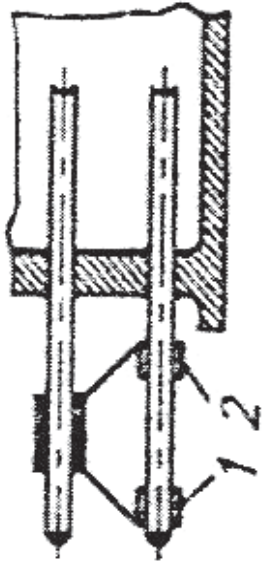
Параллельность осей отверстий в плане (позиция 4) определяют следующим образом. На выступающий конец верхней оправки надевают втулку с двумя платиками (заштрихованы), расположенными в одной плоскости. При отсутствии зазора между платиками и валом оси отверстий в плане параллельны. Если возникает одностороннее касание одного платика, то щупом измеряют зазор между валом и вторым платиком. По величине зазора оценивают непараллельность осей отверстий в плане.

Определение расстояния от базирующих поверхностей до осей отверстий и их параллельности показано в позиции 5. Измерения производят штангенрейсмусом (индикатором на стойке).

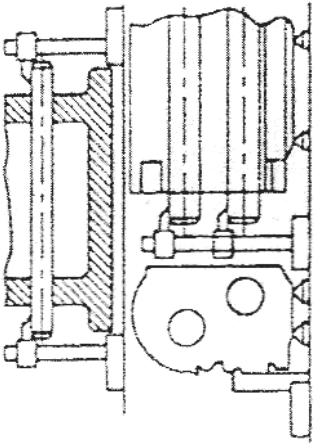
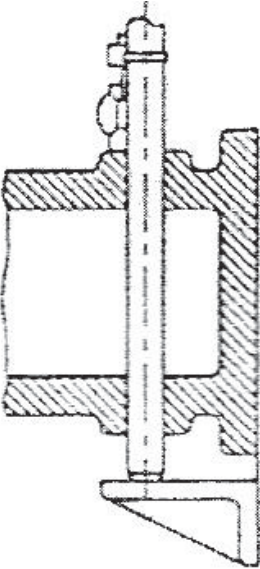
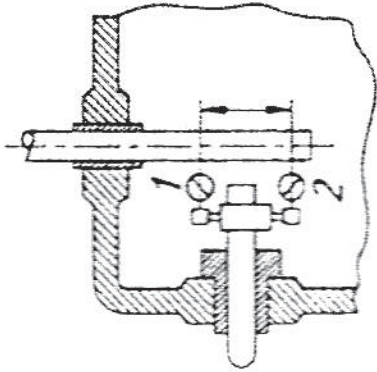
Перпендикулярность торца и отверстия (позиция 6) определяются следующим образом. В отверстие вставляют оправку и упирают в неподвижный угольник. На оправке закрепляют индикатор. Вращая вручную оправку с индикатором, оценивают величину неперпендикулярности. Если при повороте оправки на один оборот стрелка индикатора не отклоняется, то торец перпендикулярен оси отверстия. Оценка перпендикулярности пересекающихся осей отверстий показана в позиции 7. В отверстия вставлены оправки. На горизонтальной оправке с выступающим фланцем установлен индикатор.

Таблица 15.2

## Основные методы контроля корпусных деталей

Номер позиции	Объект проверки	Метод контроля	Эскиз	Точность измерения, мм
1	Соосность отверстий	Свободное прохождение гладкой оправки через втулки, вставленные в отверстия		В пределах посадок втулки и оправки
2	Расстояние между осями отверстий	Измерение микрометром или штангенциркулем по контрольным оправкам, вставленным в отверстия непосредственно или через промежуточные кольца		0,01
3	Параллельность осей отверстий	Измерение микрометрами или штангенциркулем расстояния между осями в двух местах контрольных оправок, вставленных в отверстия на длине 500 мм		0,01
4	Параллельность осей отверстий в плоскостях, перпендикулярных плоскости, проходящей через оси	Измерение шупом разности расстояний платиков приспособлений 1 и 2 от контрольных оправок с двух сторон на длине 500 мм		0,02...0,04



Номер позиции	Объект проверки	Метод контроля	Эскиз	Точность измерения, мм
5	Расстояние от базировочных поверхностей до осей отверстий и их параллельность	Измерение в двух взаимоперпендикулярных плоскостях штангенциркулем высоты в двух местах контрольных оправок		0,02
6	Перпендикулярность торца оси отверстий	Проверка индикатором, надетым на контрольную оправку, обводом по торцу на 360 °		0,01
7	Перпендикулярность пересекающихся осей отверстий	Установление разницы отсчета индикатора в положениях 1 и 2		0,01

Прижимая фланец горизонтального вала к корпусной детали, производят измерение в положении 1. Затем горизонтальный вал с индикатором вручную поворачивают на  $180^\circ$  и производят измерения в положении 2. По разности показаний определяют отклонения от перпендикулярности пересекающихся осей.

Описанные методы контроля использовались ещё в XX веке. В настоящее время определилось несколько новых направлений в создании и использовании автоматических (автоматизированных) измерительных систем [9].

1. Применение координатно-измерительных машин (КИМ) (рис. 15.26) и измерительных центров в качестве послеоперационного контроля, например, в станочных системах ЭНИМС типа АП и АСК или фирмы Cincinnati Milacron (США).

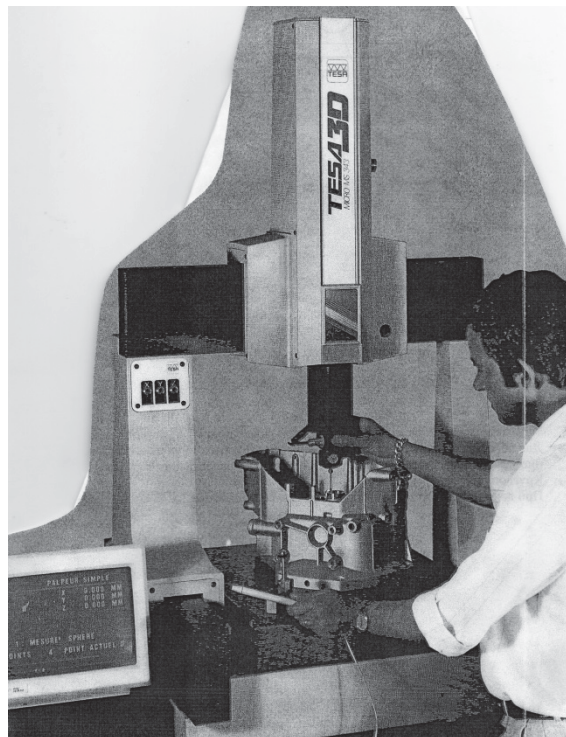


Рис. 15.26. Корпусная деталь на координатно-измерительной машине

2. Использование станка с ЧПУ как измерительной машины путем установки измерительных головок (индикаторов контакта) для контроля положения обрабатываемых поверхностей, например индикатор контакта БВ-4272 (Россия) или щуповые головки типа MB-1 фирмы Renishaw Electrical (Англия) (рис. 15.27).



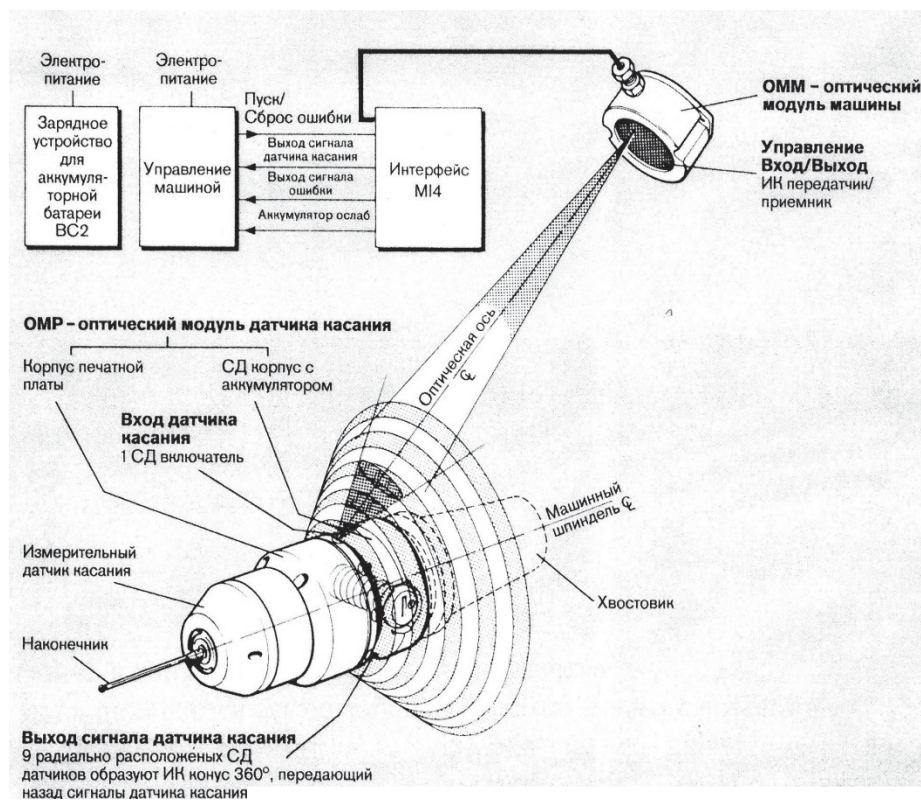


Рис. 15.27. Датчик касания

3. Специальные измерительные модули и измерительные роботы, являющиеся самостоятельными средствами контроля, например в станочных системах типа NDM-16 фирмы «Георг Фишер» (Швейцария) или типа A99 фирмы Marposh (Италия) (рис.15.28).

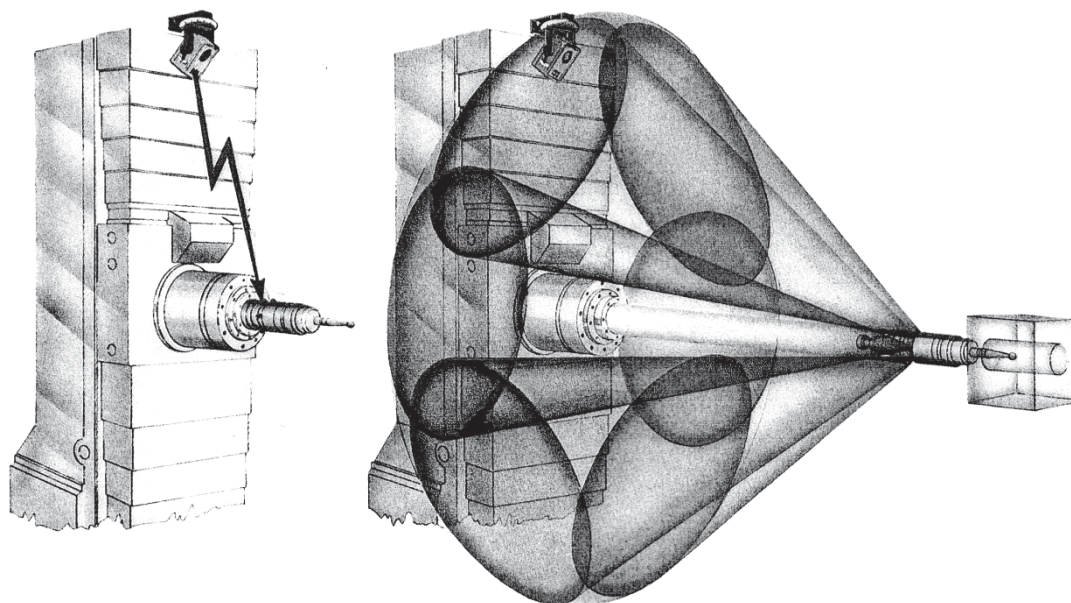


Рис. 15.28. Рабочее поле передачи информации инфракрасными лучами

#### 4. Комбинированный метод измерения заготовок и деталей:

- до обработки непосредственно на станке (опознавание заготовки по характерным для нее поверхностям, контроль точности базирования плит-спутников и заготовок на позициях обработки);
- в процессе обработки между переходами (контроль точности выполняемых размеров и положения поверхностей заготовки, наличие и состояние режущего инструмента);
- после обработки (измерение окончательно выполненных размерных параметров).

При этом совмещается использование измерительной системы станка и специального измерительного модуля или одного прибора управляющего контроля с отсчетно-командным блоком. Используются целенаправленные (избирательные) методы для различных размерных параметров с применением при этом различных по конструкции измерительных средств. Например, измерение между плоскостями осуществляется с использованием головки касания БВ-3358 (Россия). Для измерения часто встречающихся в пределах 20...80 мм отверстий успешно используются двухконтактные измерительные головки (а.с. № 1229562)<sup>1</sup>, позволяющие компенсировать ряд систематических погрешностей. Измерение диаметров менее 20 мм, выполненных с допуском Н5...Н7, осуществляется двухкоординатным измерителем. В качестве первичного измерительного органа в трехкоординатной системе управления металлообрабатывающего станка используется измерительный координатный модуль ( а.с. № 1409858). Универсальным (измерение наружных и внутренних диаметров) стал виброкантактный преобразователь размеров (патент № 2310814), который используется на многоцелевых станках и станках с параллельной кинематикой.

Как показывает анализ материалов международных выставок «Металлообработка – 2006», «Технофорум – 2007», «Металлообработка –

---

<sup>1</sup> Все конструкции приборов по авторским свидетельствам и патентам на изобретения разработаны на кафедре «Технология машиностроения» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина и внедрены на машиностроительных предприятиях России.

2008», «Металлообработка инструментов – 2011», Шестой специализированной выставки «Станкостроение. Лазерные, оптические и нанотехнологии – 2011», а также Международного научно-промышленного форума «Техническое перевооружение машиностроительных предприятий – 2011», на мировом рынке многоцелевые станки снабжаются различными измерительными системами фирм Renishaw (Англия), Marposs (Италия), Balluff (Германия), Heidenhain (Германия). В нашей стране Санкт-Петербургским заводом «Измерон» выпускался индикатор контакта БВ-7272, предназначенный для измерения обрабатываемых заготовок, определения положения (установочно-зажимных приспособлений), состояния режущего инструмента. При обработке сложных корпусных деталей (рис.15.29) (например, головка блока цилиндров, корпус картера двигателя, корпус хвостового отсека летательного аппарата, корпус ротационной машины), где много различных отверстий, выступов, плоскостей, необходимо измерять охватываемые и охватывающие размеры изделий. В этом случае применяют сменные измерительные наконечники (рис. 15.30). Используя их, контролируют следующие параметры корпусных деталей на многоцелевых (многофункциональных) станках:

- наружные поверхности (наконечник 1);
- внутренние поверхности (наконечник 2);
- малые отверстия (наконечник 3).

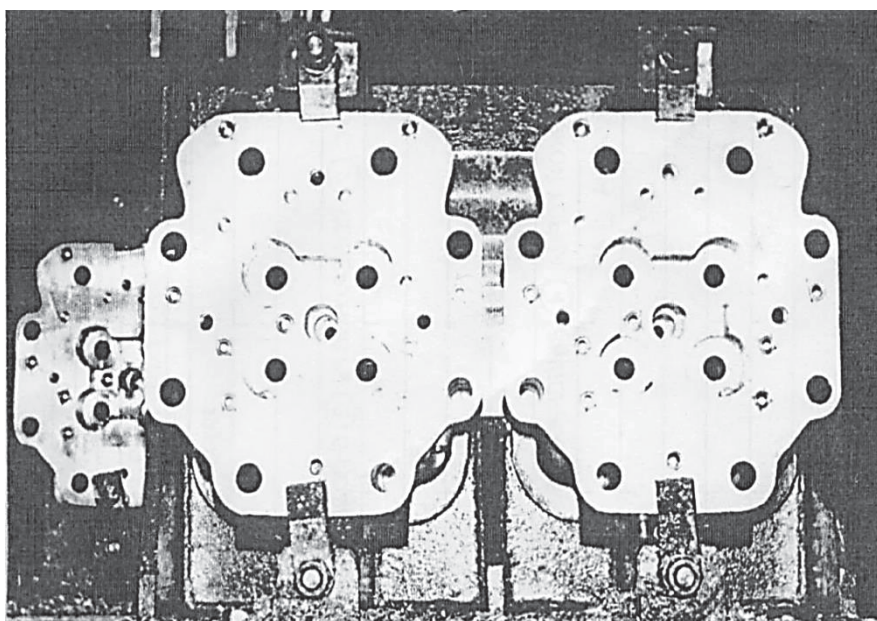


Рис.15.29. Заготовки детали «Головка блока цилиндров» на паллете-спутнике при обработке

Эти наконечники принадлежат основному измерительному прибору – виброэлектромагнитному преобразователю (универсальной измерительной головке) (рис. 15.30).

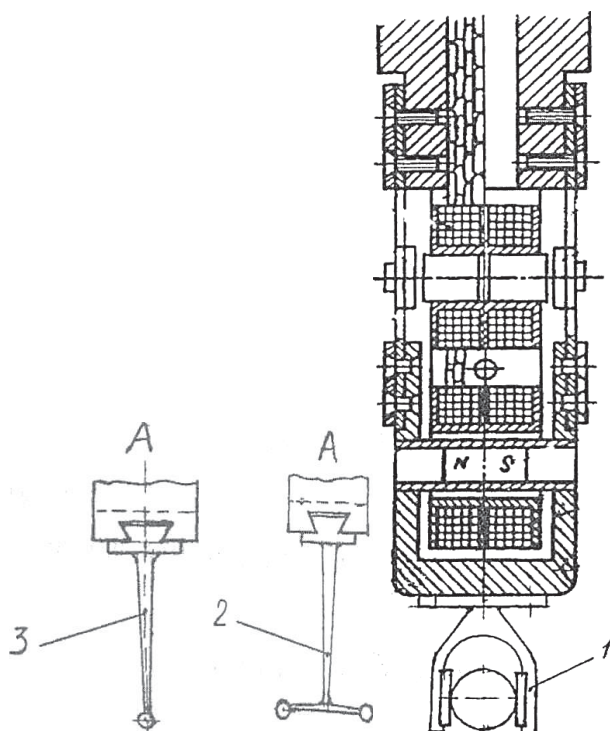


Рис. 15.30. Универсальная измерительная головка (патент № 2310814)

Измерительная головка разработана на кафедре «Технология машиностроения» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина и встраивается в измерительный модуль (ИМ) (рис. 15.31). При контроле отверстия обрабатываемой корпусной заготовки измерительный наконечник вводится в отверстие (рис. 15.32), далее осуществляется его перемещение по типовому циклу (рис. 15.32, б). Однако, как показано на рисунке, возникают погрешности позиционирования (погрешности базирования). Использование виброэлектромагнитного преобразователя (универсальной измерительной головки) дает возможность осуществлять колебательные движения наконечника в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, контролируя непосредственно диаметральный размер (рис. 15.32, а). Эта опция значительно повышает точность измерения за счет устранения вышеприведенных погрешностей.



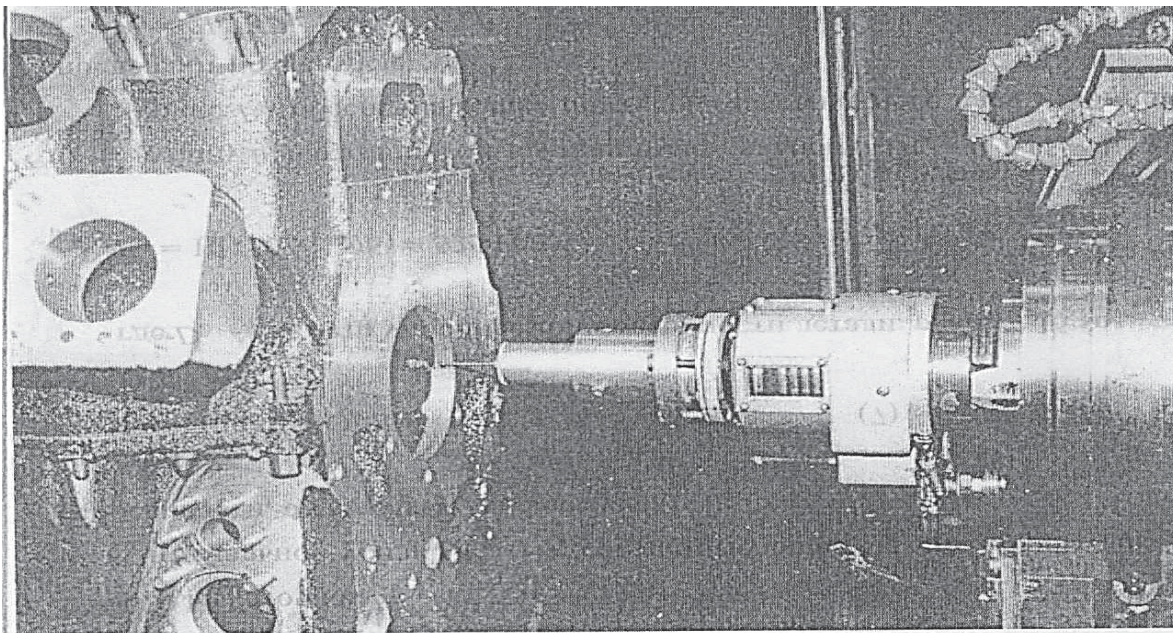


Рис. 15.31. Процесс контроля отверстия с помощью измерительного модуля

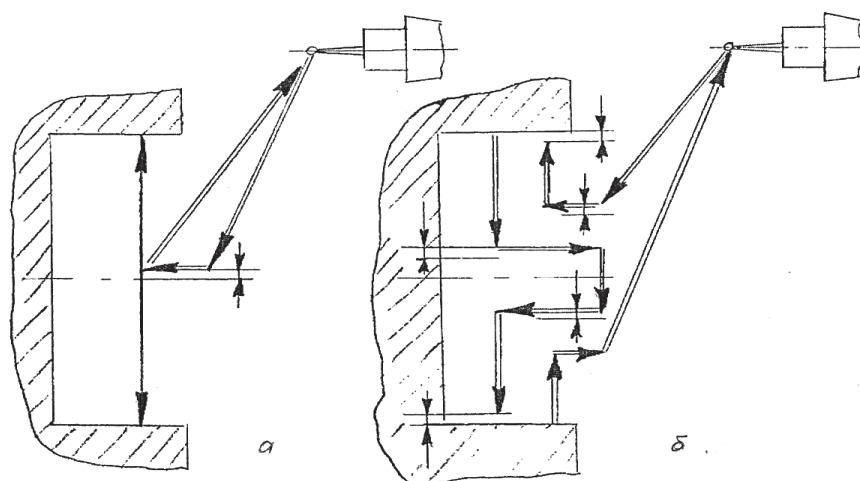


Рис. 15.32. Схемы измерения отверстия обрабатываемой корпусной заготовки

Измерительный модуль решает следующие метрологические задачи:

- определение размерных параметров и положения заготовок (рис. 15.33) и деталей;
- определение погрешностей формы и расположения поверхностей;
- определение величины смещения позиционирования палет и заготовок;
- определение величины смещения точки позиционирования шпинделя и других элементов станка от расчетной;
- определение отклонений положения поверхностей от заданного.

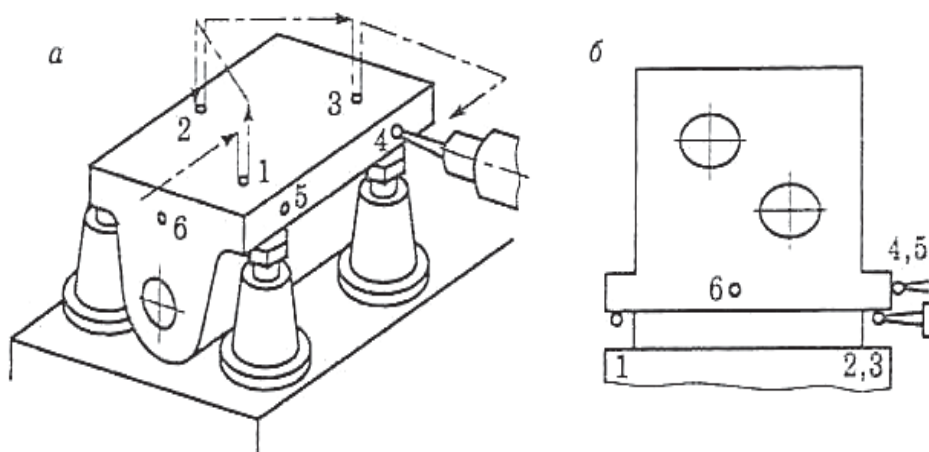


Рис. 15.33. Измерение точности положения заготовки корпусной детали на многоцелевом станке: *а* – базирование заготовки на винтовых регулируемых упорах; *б* – базирование заготовки на подкладной плите

Универсальные возможности ИМ: отклонения превосходят возможности таких средств измерения, как микрометрические приборы, что в сочетании с более высокой точностью, быстродействием, независимостью от квалификации оператора-наладчика обеспечивают высокую эффективность использования [9].

В случае, когда возможно автоматическое введение коррекции в программу работы станка или размер статической настройки режущего инструмента, ИМ используется для подачи команд в УЧПУ станка. На рис. 15.34 приведены схемы измерения: 1 – наружного диаметра (вручную); 2 – внутреннего диаметра автоматически; 3 – наружного диаметра (автоматически). Введение результатов измерения: 4 – в систему управления при ручном измерении; 5 и 6 – в систему управления при автоматическом управлении. Последующая коррекция наладки – с применением различных конструкций, регулируемых оправкой 9, или регулируемого резцедержателя 8 для токарного обрабатывающего центра. Все оправки и резцедержатель имеют пневмогидравлический привод 7. Системы управления 5 и 6 позволяют вводить коррекцию также вручную.

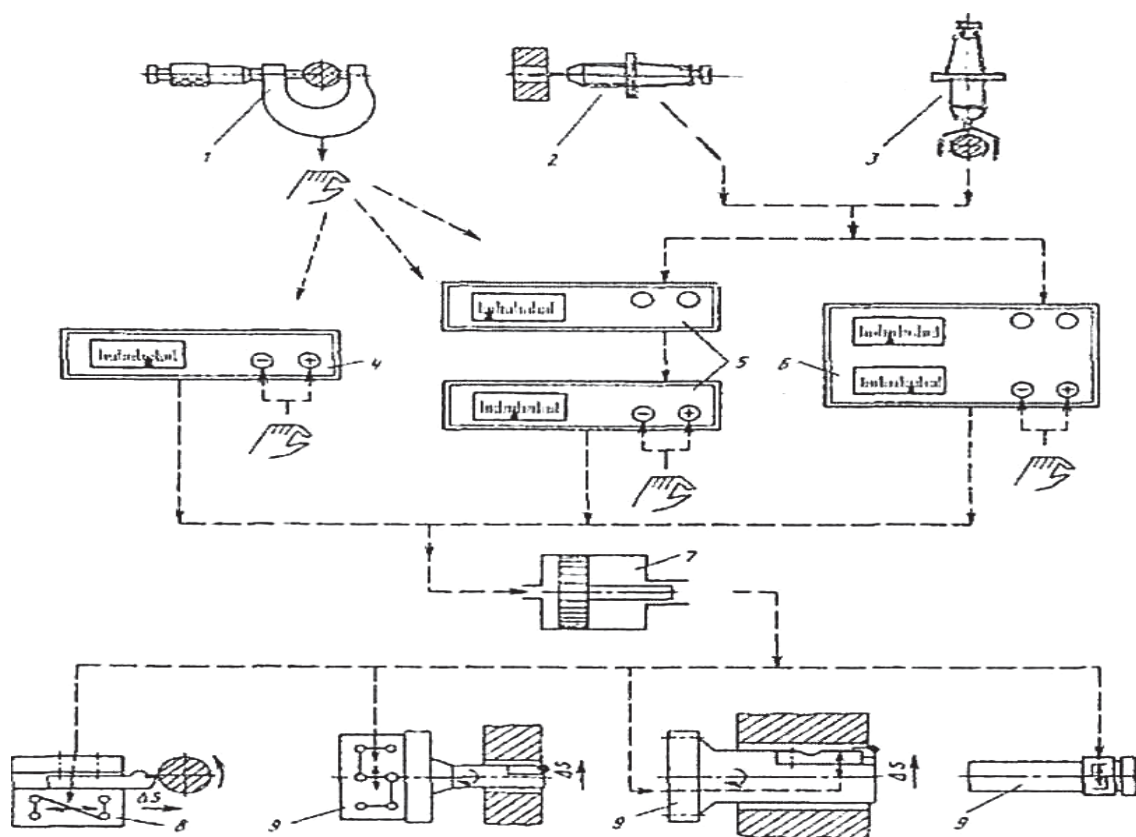


Рис. 15.34. Схемы измерения и коррекции различных технологических переходов

Измерения размерных параметров плоских поверхностей с помощью автоматических (автоматизированных) средств контроля производят на операциях шлифования, так как точность выполнения других видов обработки (например, фрезерование) обеспечивается, как правило, точностью станка. Основным видом оборудования являются плоскошлифовальные станки различных конструкций. В качестве измерительных средств используются приборы управляющего (активного) контроля. Основной принцип этих устройств – по результатам измерения управлять процессом обработки (выдавать управляющие сигналы в систему станка). Однако при измерении обрабатываемых поверхностей существуют специфические трудности:

- прерывистость обрабатываемых (контролируемых) поверхностей;
- исключен доступ к базовой поверхности контролируемых заготовок.

Существуют различные инженерные решения, устраняющие вышеприведенные трудности. Широко распространен в мире прибор «Ехат» (рис. 15.35) фирмы Marposs (Италия).



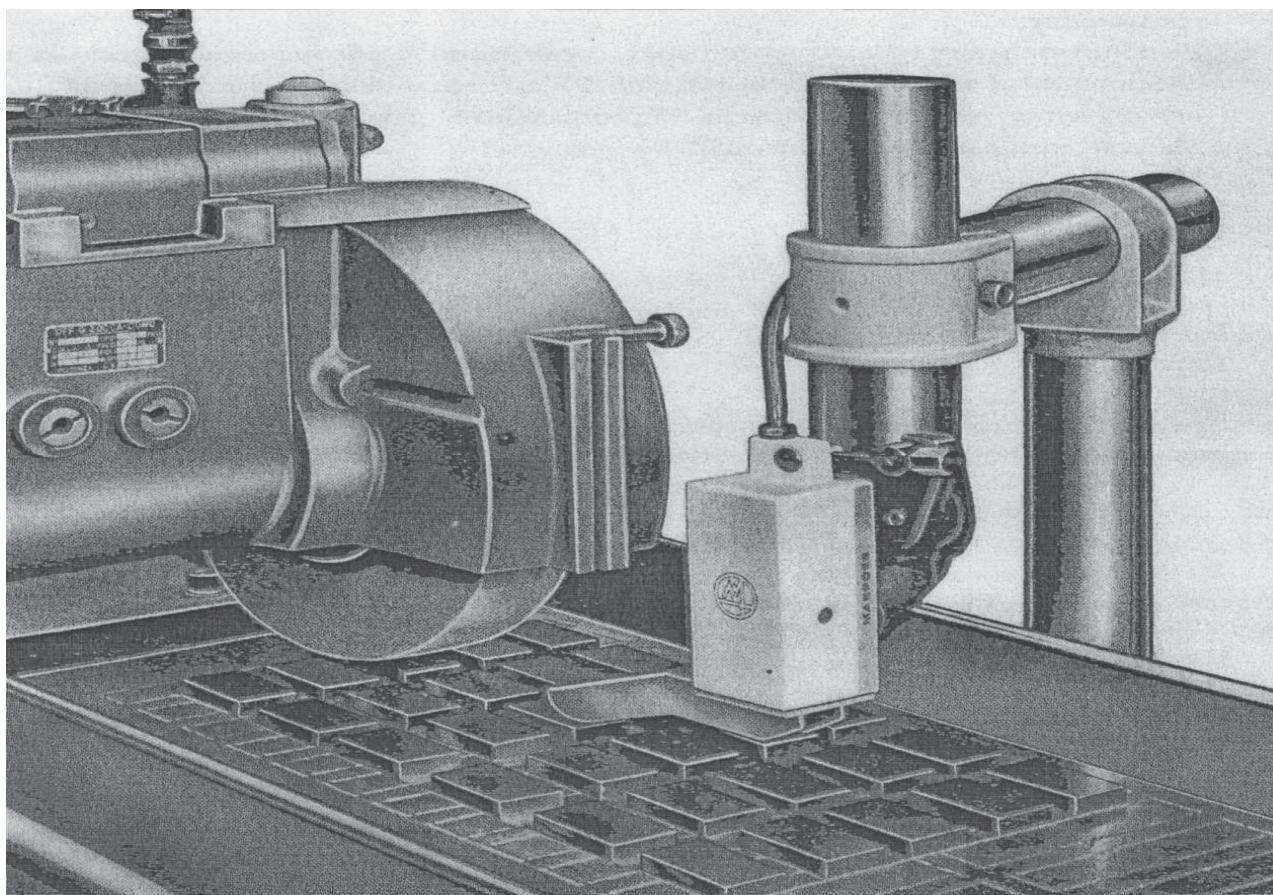


Рис. 15.35. Прибор для контроля плоских деталей «Echag» итальянской фирмы Marposs

Существуют отечественные приборы конструкции организаций «НИИ измерения» и «РОБОКОН», основными элементами которых являются одноконтakтные маслoнаполненные индуктивные головки и микропроцессорные электронные блоки, снабжённые программными устройствами для контроля прерывистой поверхности. Характерным примером является прибор БВ-4308 (рис. 15.36) – конструкция ОАО «Научно-исследовательский и конструкторский институт средств измерения в машиностроении» (г. Москва) [15].

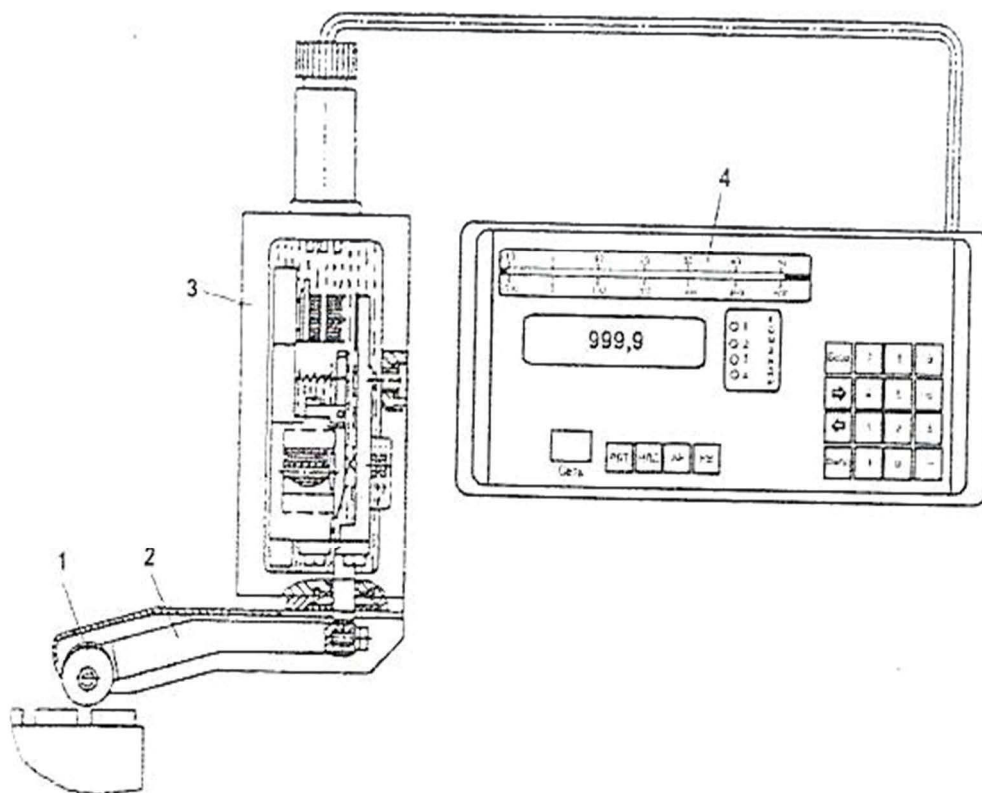


Рис. 15.36. Индуктивный прибор БВ-4308: 1 – измерительный наконечник; 2 – измерительный рычаг; 3 – индуктивный преобразователь; 4 – электронный блок

Более простыми по конструкции являются отечественные приборы управляющего контроля виброконтakтного принципа измерения (рис. 15.37), устанавливаемые как на плоскошлифовальных станках с прямоугольным (рис. 15.38), так и на станках с круглым столом (рис. 15.39). Все рассмотренные приборы предназначены для слежения за изменением положения обрабатываемой поверхности деталей. Существуют и двухконтakтные приборы (рис. 15.40), позволяющие отслеживать положение обрабатываемой поверхности и базовой поверхности, на которой находятся заготовки (рис. 15.41). Монтаж такого прибора осуществляется путем установки на подводящее устройство 1 (см. рис. 15.40) корпуса 2 при помощи винтов 3 следящего преобразователя 4, который отслеживает положение базовой поверхности стола станка. Основной датчик 5 контролирует положение обрабатываемой поверхности детали.



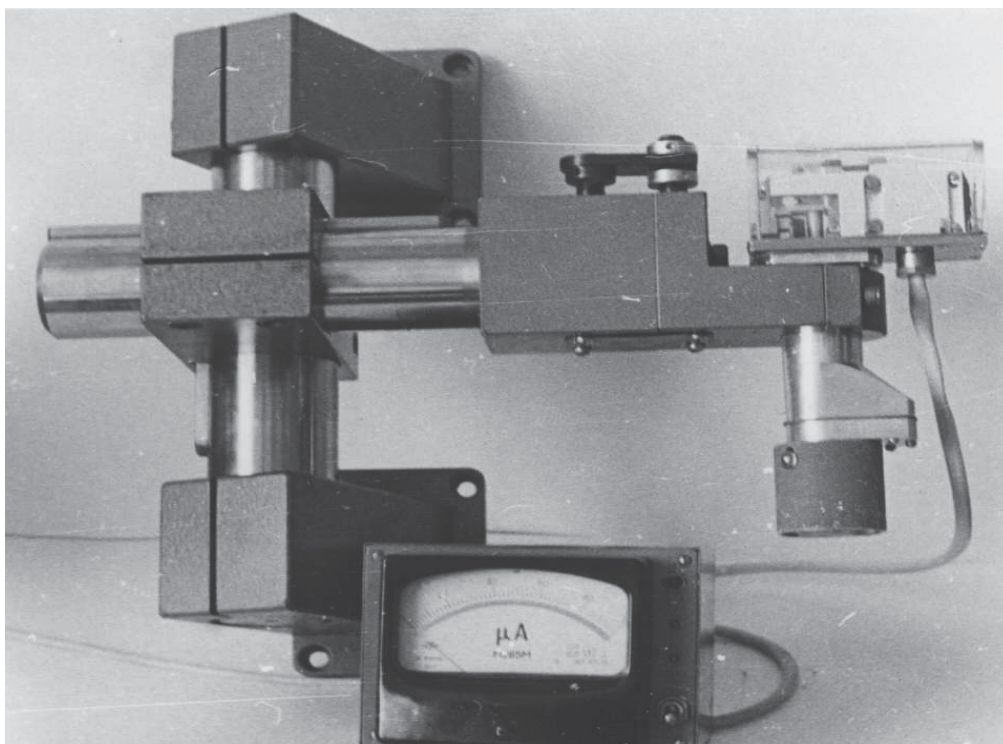


Рис. 15.37. Прибор виброкантактного принципа измерения для плоскошлифованных станков  
(патент № 2270415)

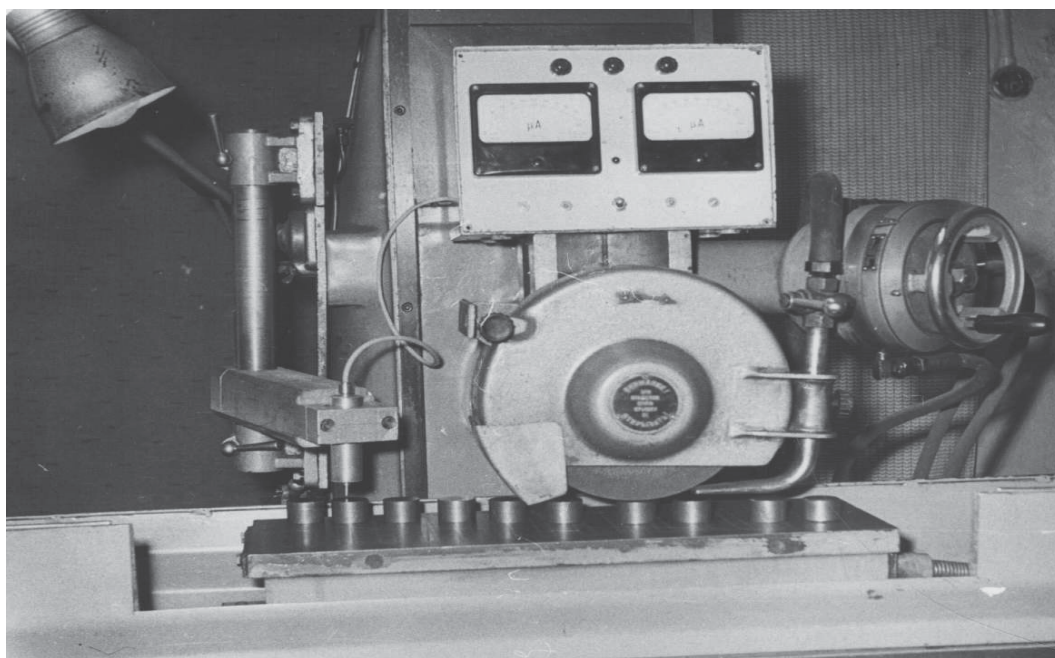


Рис. 15.38. Прибор управляющего контроля на плоскошлифовальном станке  
с прямоугольным столом

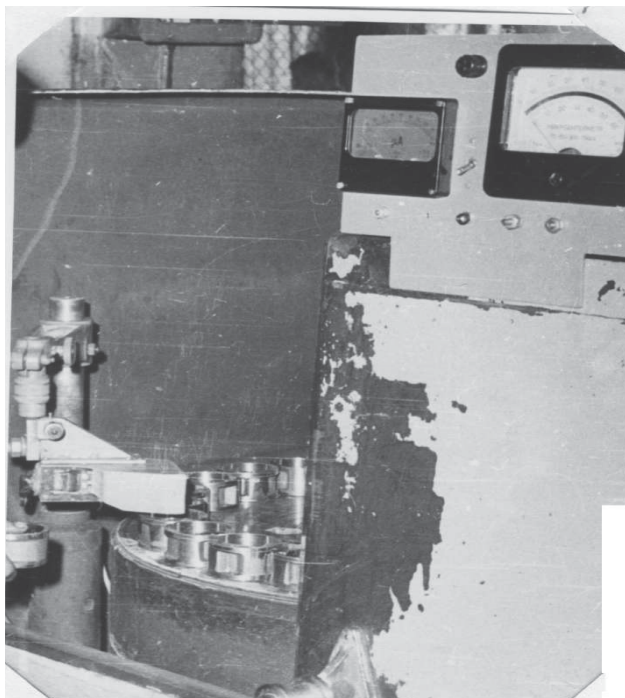


Рис. 15.39. Прибор управляющего контроля на плоскошлифовальном станке с круглым столом

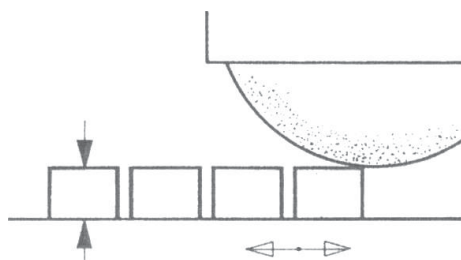


Рис. 15.41. Контроль размера детали

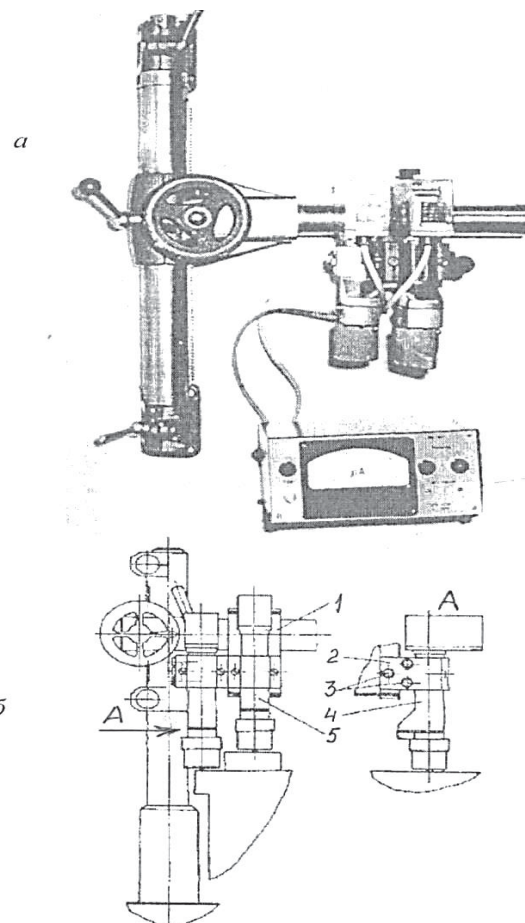


Рис. 15.40. Двухконтактный прибор управляющего контроля (патент № 2284466):

*а* – общий вид; *б* – монтажная схема

### Контрольные вопросы и задания

1. Какие детали называются корпусными? Какие заготовки используют для корпусных деталей?
2. Какие применяют способы базирования корпусных деталей?
3. Как обрабатывают плоскости и отверстия в корпусных деталях?
4. Перечислите способы расточки отверстий в корпусных деталях.
5. Как производят контроль отверстий в корпусных деталях?

## 16. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ МАШИН

### 16.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ. КЛАСИФИКАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ

Сборка машин – процесс соединения деталей и сборочных единиц в целую машину в соответствии с заданными техническими условиями. Составные части машин – детали и сборочные единицы (узлы).

Сборка может быть общей и узловой. Общая сборка – сборка, объектом которой является изделие (машина) в целом. Узловая сборка – сборка, объектом которой является составная часть изделий (узел).

Трудоемкость сборочных работ в машиностроении составляет 20...30 % общей трудоемкости изготовления машин. По отдельным машинам трудоемкость сборочных работ может достигать 40...60 % общей трудоемкости изделия.

От качества сборочных работ в значительной степени зависят эксплуатационные характеристики, надежность и долговечность машины.

Исходные данные для проектирования технологических процессов сборки:

- сборочные чертежи узлов и общих видов машины;
- величина программного задания и срок выполнения данной программы;
- чертежи деталей, входящих в узлы, для лучшего знакомства с машиной;
- сведения о специфических условиях данного производства (новое, действующее или реконструируемое).

Сборочные чертежи узлов и общих видов машин должны содержать:

- основные размеры, характеризующие узел (машину);
- допуски на размеры, определяющие взаимное расположение деталей;
- особые требования, касающиеся сборки сопряженных деталей или всей машины.

К чертежам прилагаются:

- спецификации на узлы (изделия);
- описания конструкции изделия;
- технические условия на приемку.

Спецификации деталей по каждому изделию должны содержать наименование всех деталей, массу деталей, вид материала, его марку, виды заготовки, число деталей на одно изделие. Для гостированных или нормализованных деталей и узлов – номер ГОСТа (ОСТа) или нормали.

Описание конструкции изделия (машины, узла) должно дать полное представление о работе изделия, назначении его отдельных частей и их взаимодействии во время работы.

Технические условия на приемку изделий определяют требования, предъявляемые к изделию в целом и к отдельным его элементам. Сборка машин характеризуется выполнением различных соединений деталей или сборочных единиц. Соединения классифицируют по конструктивным и технологическим признакам. По конструктивным признакам соединения бывают неподвижными и подвижными.

Неподвижные, в свою очередь, разделяются на неразъемные (клепка, сварка, пайка, склеивание, горячие посадки) и разъемные (болтами, винтами, шпильками, клиньями, замками, неподвижными посадками-запрессовками).

Подвижные соединения характерны для кинематических пар (скольжения, винтовых, зубчатых, червячных и др.). Подвижные соединения в большинстве случаев являются разъемными, хотя возможны неразъемные подвижные соединения (например, пара винт и гайка с расклепанными концами винта). По технологическим признакам различают соединения резьбовые, прессовые, сварные, паяные, заклепочные, клеевые, вальцовочные, гибочные.

## 16.2. СТАДИИ, СТРУКТУРА И ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

### *Стадии сборочного процесса*

1. Подготовка к сборке отдельных деталей путем опилования, зачистки заусенцев и поверхностей, шабрения, притирки, полирования, сверления отверстий по месту, развертывания отверстий, подторцовывания, гибки. Подготовка к сборке характерна для единичного производства, встречается в серийном и недопустима в массовом.

2. Соединение деталей в сборочные единицы и агрегаты из сборочных единиц.

3. Общая сборка – сборка всей машины.

4. Регулирование – проверка правильности взаимодействия частей машины.

5. Обкатка машины (например, двигателей, редукторов).

6. Испытание машины – проверка работы машины со снятием необходимых характеристик.

### *Структура и организация технологического процесса сборки*

Процесс сборки изделия разделяют на отдельные операции.

Операция – законченная часть процесса сборки узла или машины, осуществляемого одним или несколькими рабочими на одном рабочем месте. Операция состоит из переходов.

Переход – часть операции, выполняемая без смены инструмента одним или несколькими рабочими. При хронометраже сборочных работ переход разделяют на рабочие приемы.

Рабочий прием – часть перехода, состоящая из простейших рабочих движений, выполняемых одним рабочим.

В зависимости от условий производства различают следующие основные организационные формы сборки: стационарную и подвижную.



Стационарная сборка выполняется на неподвижном рабочем месте. Она более характерна для индивидуального и серийного производства. В массовом производстве стационарная сборка находит применение для изделий большой массы.

При подвижной сборке изделие (узел) перемещается от одного рабочего места к другому. На каждом рабочем месте постоянно выполняется определенная повторяющаяся операция. Подвижную сборку применяют в серийном и массовом производстве.

Для повышения эффективности сборки применяют поточную форму организации сборочных работ. В большинстве случаев при поточной сборке объект сборки подвижен (хотя поточный метод сборки возможен и при неподвижном объекте сборки). Поточная сборка характеризуется следующими особенностями: закреплением сборочных операций за определенными рабочими местами; расположением рабочих мест в порядке последовательности операций; ритмичностью (синхронностью) операций во времени – в этом случае время на операцию подгоняется под такт (одно рабочее место), два такта (два рабочих места) и т. д.; взаимозаменяемостью деталей, вследствие чего отпадает необходимость пригонки деталей по месту.

При подвижной поточной сборке применяют следующие транспортные устройства: рольганги; рельсовые и безрельсовые тележки, перемещаемые вручную или электродвигателем; различные транспортеры и конвейеры, в том числе подвесные; карусельные столы.

При поточной подвижной сборке подача изделия может быть непрерывной или прерывистой (периодической).

Основной исходной величиной для расчета поточной сборки является такт выпуска  $\tau$  (см. главу 1). Если сборку производят при непрерывной подаче изделия, то такт выпуска изделий с поточной линии равен такту работы:

$$\tau = \tau_p.$$

При сборке с периодической подачей изделия такт выпуска  $\tau$  равен такту работы  $\tau_p$  плюс время  $\tau_n$  на перемещение изделия от одного рабочего места к другому:

$$\tau = \tau_p + \tau_n.$$

Скорость движения конвейера при непрерывном движении, м/мин,

$$V = l / \tau = l / \tau_p,$$

где  $l$  – длина рабочего места (расстояние между центрами двух рабочих мест), м.

Скорость движения конвейера зависит от конкретных условий производства и может достигать 5 м/мин.

Рабочая длина конвейера:

$$L = m l = m z (l_1 + l_2) = (m_1 + 2m_2 + 3m_3 + \dots) A = vT = v m \tau = v m (\Phi_0 / \Pi_0),$$

где  $m$  – число рабочих мест;  $z$  – число изделий на рабочем месте;  $l_1$  – длина изделия, м;  $l_2$  – расстояние между соседними изделиями, м;  $m_1, m_2, m_3$  – числа операций с длительностью, равной одному, двум, трем и т. д. тактам выпуска;  $A$  – длина рабочего места, м;  $T$  – время прохождения всей длины конвейера, мин;  $\Phi_0$  – действительный фонд рабочего времени (год, месяц и т. п.), мин;  $\Pi_0$  – производственное задание конвейера по данному изделию на ту же календарную единицу времени.

Если сборку производят при периодически движущемся конвейере, то полное время производственного процесса  $T'$  равно времени сборки и времени на передвижение конвейера с изделием:

$$T' = m \tau_p + \tau_n (m - 1).$$

Неподвижную поточную сборку обычно применяют для изделий большой массы в мелкосерийном производстве. Процесс сборки изделия разделяют на примерно одинаковые по времени операции, причем число этих операций по сравнению с подвижной сборкой становится меньше. Часто длительность этих операций подгоняют под длительность половины или целой смены. В этом случае тяжелые детали собираемых машин подают на рабочие места в

нерабочее время (после окончания смены или в рабочие перерывы). Каждая бригада сборщиков выполняет одну операцию и после окончания работы переходит на другое рабочее место. Таким образом, в отличие от подвижной поточной сборки собираемое изделие неподвижно, а перемещается бригада сборщиков вместе с инструментами.

*Механизация сборочных работ.* Для ускорения и повышения качества сборки машин широко применяют, особенно в массовом производстве, механизированные слесарно-сборочные инструменты и машины, а также сборочные приспособления. К машинам и инструментам относятся электрические опилочные и шлифовальные машины, электрические и пневматические зубила, гайковерты, отвертки, клепальные машины, прессы, станки для притирки клапанов и др.

Сборочные приспособления применяют для установки и соединения, подъема, поворота или перемены положения собираемых деталей, проверки точности и др.

*Пути снижения трудоемкости сборочных работ.* К ним относятся обработка деталей по принципу взаимозаменяемости за исключением процессов подгонки деталей; вынесение возможно большего числа сборочных операций из общей в узловую сборку; своевременная подача деталей, сборочных единиц и необходимой оснастки к сборочным местам; широкое применение механизированных инструментов и специальных сборочных приспособлений; организация сборки по принципу поточного производства.

### 16.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ СБОРКИ. СОСТАВ РАБОТ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОЦЕССА СБОРКИ ИЗДЕЛИЯ

Перед разработкой технологического процесса сборки изделия (узла) составляют технологические схемы общей и узловой сборки. Эти схемы изображают последовательность сборки машины, узла или подузла из ее элементов. Исходным материалом для составления схемы сборки служит чертеж изделия (узла, подузла) со спецификацией входящих элементов (деталей, узлов, подузлов).

Каждую деталь (подузел, узел) на схеме сборки изображают в виде прямоугольника, разделенного на три части, в которых указывают номер детали (подузла, узла) по спецификации, наименование детали (узла, подузла) и число собираемых деталей (узлов, подузлов).

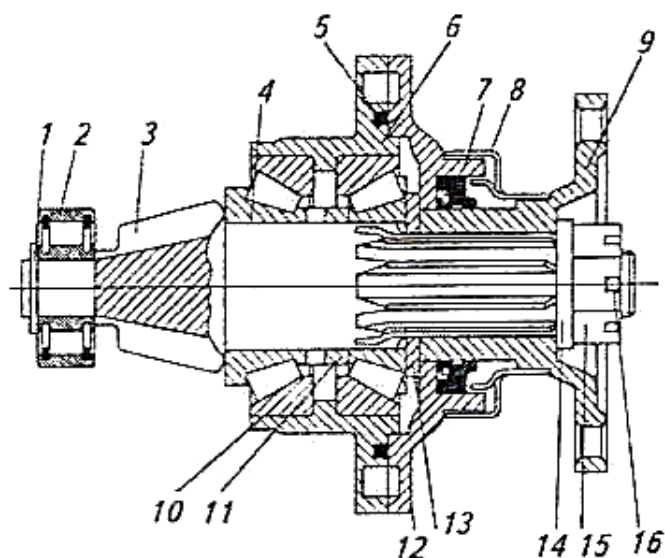
Наименование детали	
Номер по спецификации	Число

При разработке схемы сборки вначале выбирают так называемую базовую деталь или базовый узел (подузел). Таким базовым элементом является элемент собираемого узла (машины), на который устанавливают остальные детали и узлы (подузлы).

От базового элемента проводят прямую линию, к которой подводят прямоугольники, обозначающие сборочные элементы в порядке их присоединения. В конце линии прямоугольником обозначают узел (подузел, изделие) в сборе. Чтобы облегчить распознавание на схеме сборки подузлов, узлов и деталей, прямоугольники, обозначающие узлы и подузлы, обводят двойной линией (рис. 16.1)

Фланец в сборе	
9	1

Иногда детали отличают от узлов (подузлов) другим способом. Детали располагают над линией, соединяющей базовый элемент с собираемым узлом (подузлом, изделием), а подузлы (узлы) – под этой линией. В технологических схемах сборки указывают методы осуществления соединений, если они не определены типом собираемых деталей. Так, пишут «приварить», «запрессовать», но не пишут «сболтить», «заклепать», если указана постановка болтов и заклепок. На рис. 16.1 приведен сборочный чертеж «Шестерня ведущая главной передачи заднего моста с картером подшипников», а на рис. 16.2 – технологическая схема сборки этого узла.



№ п/п	Наименование	Кол.
1	Кольцо стопорное	1
2	Подшипник роликовый	1
3	Вал-шестерня ведущий	1
4	Кольцо подшипника внутреннее в сборе с сепаратором	2
5	Пробковая прокладка	1
6	Картер подшипников	1
7	Манжета	1
8	Пыльник	1
9	Фланец	1
10	Кольцо подшипниковое наружное	2
11	Кольцо упорное	2
12	Крышка	1
13	Шайба	1
14	Шайба	1
15	Гайка	1
16	Шплинт	1

Рис. 16.1. Шестерня ведущая главной передачи заднего моста с картером подшипников

Схемы сборки составляют в следующей последовательности: вначале общая, затем узловая. Технологические схемы сборки являются основой для последующего проектирования технологических процессов сборки. При наличии этих схем разработка технологии сборки значительно упрощается.

В зависимости от организации процесса и объема выпуска изделий сборка бывает последовательной, параллельно-последовательной и параллельной. При последовательной сборке изделия все операции сборки располагают друг за другом в порядке их выполнения (это характерно для единичного и серийного производства). При большом объеме выпуска сборка изделий может быть параллельной (массовое производство), когда работают несколько сборочных конвейеров. При параллельно-последовательной сборке изделия часть сборочных операций ведут параллельно, а другую – последовательно. Параллельные операции подгоняют по времени под два, три такта, и тогда число рабочих мест удваивается или утраивается. Параллельно-последовательная сборка характерна для крупносерийного производства.

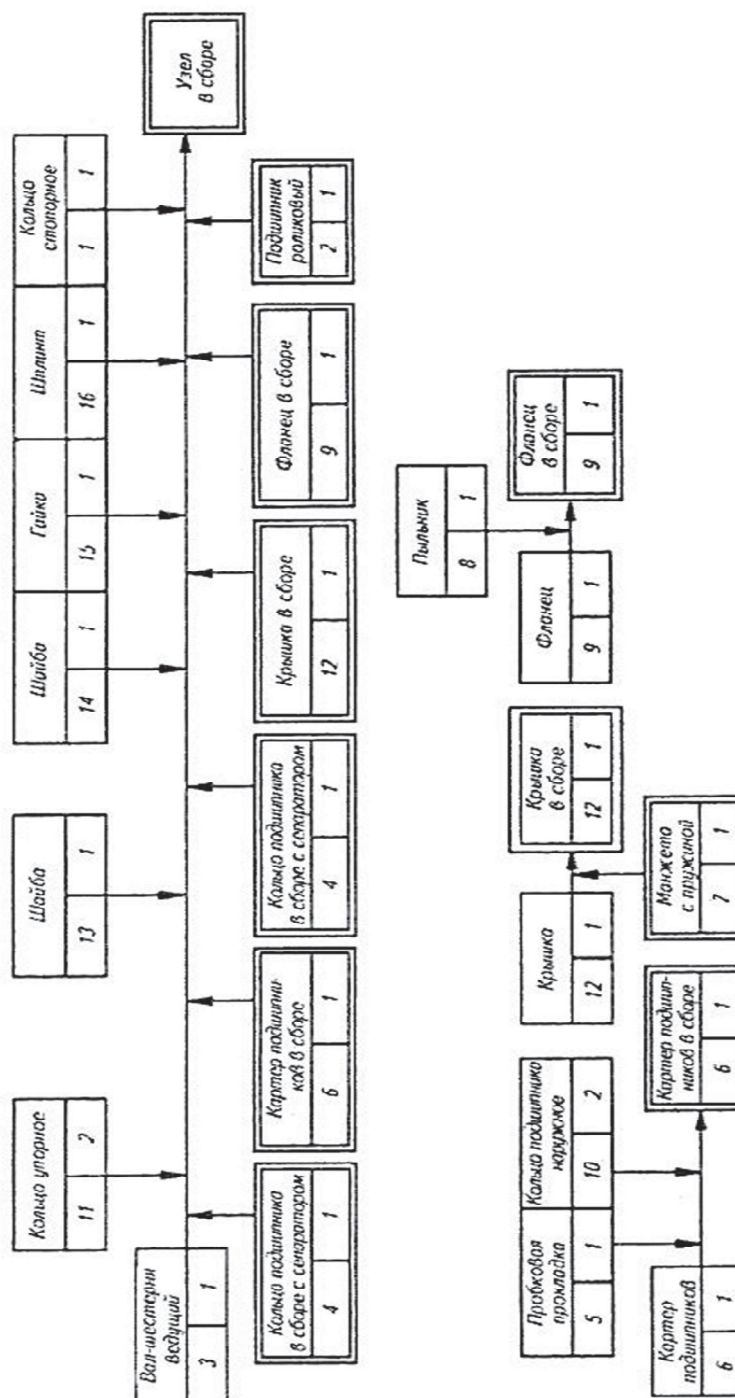


Рис. 16.2. Технологическая схема сборки

На основании технологических схем сборки узлов, подузлов и изделия можно судить о его технологичности с точки зрения удовлетворения требований сборки. Условие технологичности сборки — возможность разделения изделия на большое число узлов и подузлов и параллельной сборки (одновременно в нескольких местах) узлов (подузлов) с сокращением цикла сборки изделия.

Технологический процесс сборки изделия разрабатывают в несколько этапов.

1. Отрабатывают конструкции сборочных чертежей изделия и узлов на технологичность.

2. Устанавливают рациональные методы достижения точности сборки (полная, неполная, с регулировкой и пригонкой).

3. В зависимости от объема выпуска изделий устанавливают целесообразную форму сборки.

4. Определяют рациональную в данных условиях степень дифференциации или концентрации сборочных операций.

5. Устанавливают последовательность соединения сборочных единиц и деталей изделия и разрабатывают схемы общей сборки и сборки узлов изделия.

6. Выбирают наиболее экономичные способы сборки, контроля и испытаний изделия.

7. Выбирают необходимое стандартное технологическое оборудование и технологическую оснастку (приспособления, монтажный, режущий и измерительный инструмент) или – при необходимости – их проектируют.

8. Производят техническое нормирование сборочных работ, определяют разряды работ, рассчитывают экономические показатели сборочных работ.

9. Оформляют техническую документацию на сборочные работы. Она включает разработку маршрутной и операционных карт технологических процессов сборочных, слесарно-сборочных и электромонтажных работ, комплекточной карты, ведомости материалов, а также, как уже отмечалось, технологических схем сборки изделия и его сборочных единиц.



### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое процесс сборки?
2. Какие необходимы исходные данные для его проектирования?
3. Как классифицируют соединения деталей?
4. Назовите стадии сборочного процесса.
5. Что такое сборочная операция, переход, рабочий прием?
6. В чем заключаются характерные особенности поточной сборки?
7. Что такое такт выпуска изделия с поточной линии?
8. Как осуществляется механизация сборочных работ?
9. Перечислите пути снижения трудоемкости сборочных работ.

# СПЕЦИАЛЬНЫЙ КУРС

## 17. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ВАЛОВ

### 17.1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

#### ПРЕЦИЗИОННЫХ ВАЛОВ

В технологических процессах изготовления шпинделей можно выделить несколько основных этапов.

*Черновая обработка.* На этапе черновой обработки наружные и внутренние поверхности заготовки обрабатывают с припуском 3...5 мм на сторону под последующую обработку. Центральное отверстие, мелкие и крепёжные отверстия во фланце валов могут быть обработаны окончательно. При этом удаляется большое количество материала заготовки (до 40 %). Припуски при черновой обработке, как правило, неравномерны, что приводит к возникновению существенных динамических явлений в технологическом оборудовании. Кроме того, при черновой обработке выделяется большое количество пыли из-за удаления корки с поковок. В связи с этим рекомендуется черновую обработку валов производить на специальных участках, отделённых от участков чистовой и, особенно, отделочной обработки. Для снятия внутренних напряжений в заготовке после черновой обработки следует проводить стабилизирующую термическую обработку: для валов из низкоуглеродистых сталей – высокий отпуск, из среднеуглеродистых сталей – улучшение.

*Получистовая обработка.* На этапе получистовой обработки неотвественные наружные и внутренние поверхности обрабатывают окончательно. Опорные и посадочные поверхности обрабатывают с припуском под последующее шлифование. Также с припуском под последующую обработку обрабатывают шлицевые поверхности и шпоночные пазы. Величина припусков, кроме припусков на последующую обработку поверхностей, не подлежащих цементации, составляет 0,5...1,2 мм. Для обеспечения возможности удаления науглероженного слоя величина припуска составляет 4 – 5 мм.

*Основная термическая обработка.* На этом этапе производят термическую обработку, обеспечивающую заданную твёрдость поверхностей. Валы, изготавливаемые из низкоуглеродистых сталей (12ХНЗА, 20Х и т. п.), подвергают цементации. При этом после науглероживания шпинделя с поверхностей, не подлежащих цементации, удаляют науглероженный слой и только затем производят закалку.

Валы, изготавливаемые из среднеуглеродистых сталей, подвергают поверхностной закалке с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ).

Валы, изготавливаемые из сталей, содержащих алюминий, подвергают азотированию.

*Чистовая обработка.* На данном этапе окончательно обрабатывают все рабочие поверхности (кроме опорных и посадочных поверхностей прецизионных деталей, которые обрабатывают с припуском 0,05...0,1 мм под отделочную обработку). В процессе чистовой обработки между операциями может быть проведён стабилизирующий отпуск для снятия внутренних напряжений. Высокоскоростные детали подлежат балансировке. Прецизионные валы после чистовой обработки подлежат стабилизирующей термообработке.

*Отделочная обработка.* Отделочную обработку опорных поверхностей под подшипники и посадочных поверхностей под технологическую оснастку применяют в производстве прецизионных деталей для обеспечения заданных технических требований, особенно точности формы и шероховатости поверхностей. Оборудование для отделочной обработки устанавливают на индивидуальных виброизолированных фундаментах в специальных термоконстантных помещениях.

## 17.2. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ПРЕЦИЗИОННЫХ ВАЛОВ

### **Характеристики заготовок**

В соответствии с условиями эксплуатации и применяемыми материалами заготовки прецизионных валов получают, как правило, обработкой давлением (рис. 17.1).

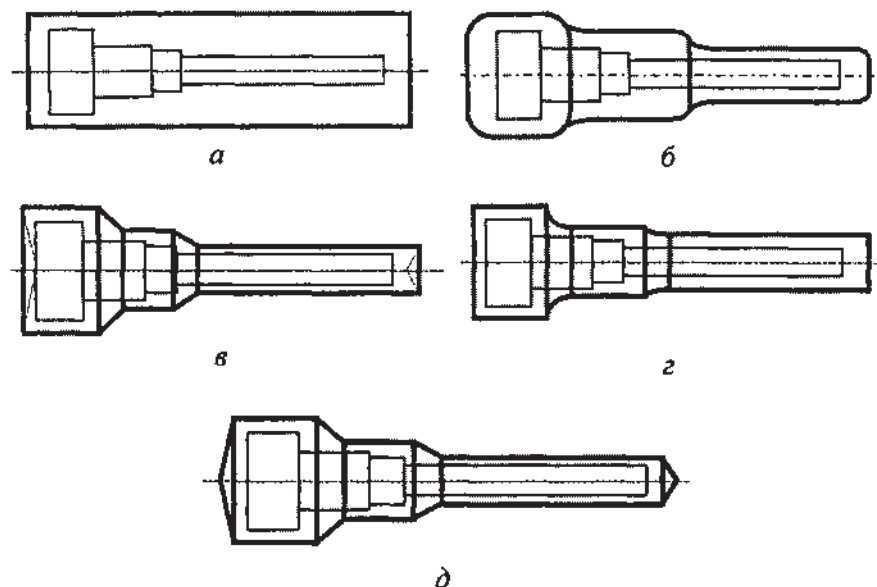


Рис. 17.1. Заготовки прецизионных валов:  
*a* – заготовка из проката; *б* – поковка, полученная свободной ковкой;  
*в* – поковка, полученная ковкой на РКМ;  
*г* – поковка, полученная ковкой на ГKM;  
*д* – поковка, полученная штамповкой в закрытом штампе

В единичном и мелкосерийном производстве заготовки прецизионных валов изготавливают из горячекатаного проката путём отрезки на отрезных станках (рис. 17.1, *a*) или свободной ковкой на молотах (рис. 17.1, *б*). Такие заготовки отличаются крайне низким коэффициентом использования материала (0,2...0,4). Кроме того, для заготовок, полученных свободной ковкой, характерны большие и неравномерные припуски. Масса прутковых заготовок составляет от нескольких килограммов до нескольких десятков килограммов; припуски – 3...5 мм (без учёта напусков). Масса заготовок, полученных свободной ковкой, может достигать нескольких сотен килограммов, а в отдельных случаях – и нескольких тонн; припуски на обработку составляют 5...30 мм. Для полых бесфланцевых валов в качестве заготовок можно применять трубный прокат, коэффициент использования материала (КИМ) достигает в этом случае 0,5...0,7.

В серийном производстве заготовки получают ковкой на ротационно-ковочных машинах (РKM) (рис. 17.1, *в*) или горячей высадкой на горизонтально-ковочных машинах (ГKM) (рис. 17.1, *г*). КИМ для заготовок, полученных на

РКМ, равен 0,75...0,8; на ГКМ – 0,5. Масса поковок, полученных на ГКМ и РКМ, достигает сотен килограммов; припуски – 1...8 мм. В отдельных случаях заготовки шпинделей в серийном производстве можно получить штамповкой в закрытых штампах (рис. 17.1, д). Масса заготовок в этом случае обычно не превышает нескольких десятков килограммов; КИМ равен 0,4...0,5; припуски составляют 3...15 мм.

Заготовки тяжёлых валов из серого или высокопрочного чугуна получают центробежным литьём в металлические формы.

Заготовки, полученные методом пластической деформации, обязательно подвергают термической обработке для снятия внутренних напряжений: из низкоуглеродистых сталей 12ХНЗА, 20Х и т. п. – нормализации; из среднеуглеродистых сталей 40Х, 38Х2МЮА и т. п. – отжигу.

### 17.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ БАЗЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВАЛОВ

Основными конструкторскими базами валов являются их опорные поверхности под подшипники, однако использование их в качестве технологических баз на большинстве операций обработки как наружных, так и внутренних поверхностей невозможно. Это объясняется тем, что опорные поверхности расположены, как правило, на значительном расстоянии от торцов заготовки (50...200 мм).

При обработке наружных поверхностей в качестве технологических баз используют поверхности центровых отверстий и торец переднего или заднего конца вала.

Обычно используют стандартные центровые отверстия, предусмотренные ГОСТ 14034–74 (рис. 17.2).

Помимо отверстий с углом конуса 60° (форма А), возможно применение центровых отверстий с предохранительным конусом, выполненным под углом 120° (форма В), и отверстий с непрямолинейной образующей (форма R).

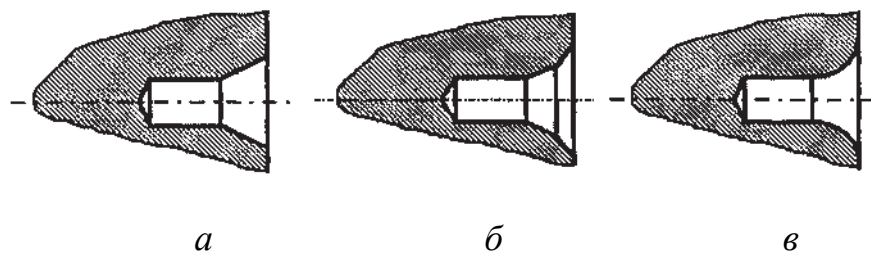


Рис. 17.2. Виды центровых отверстий:

*а* – форма А; *б* – форма В; *в* – форма R

Последние не чувствительны к угловым *погрешностям* жёстких и вращающихся центров. Выпуклая форма опорной поверхности защищает такие отверстия от повреждения и снижает их износ, поскольку лучше удерживает смазку.

Для конической поверхности центрального отверстия регламентируют отклонение от круглости, угол конуса, шероховатость поверхности и площадь пятна контакта.

Допуск отклонения от круглости составляет от 0,1 мм на черновых операциях до 1 мкм и менее на отделочных операциях. Высокие требования к точности формы объясняются тем, что при установке заготовки в центрах форма базовой поверхности в значительной степени определяет точность вращения заготовки и, как следствие, точность формы обрабатываемых поверхностей.

Допуск угла конической части центрального отверстия составляет  $0,5^\circ$ . Требования к точности угла конуса определяются условиями контакта опорной поверхности центрального отверстия и установочной поверхности жёсткого или вращающегося центра (рис. 17.3). Если угол центрального отверстия меньше угла центра (рис. 17.3, *а*) и торец заготовки не перпендикулярен его оси, то опорная поверхность в сечении будет иметь форму эллипса. Если угол центрального отверстия больше угла конуса (рис. 17.3, *б*), то эллиптическая несущая линия при переходе конической части центрального отверстия в цилиндрическую будет вызывать несовпадение оси отверстия с осью обрабатываемой заготовки. Кроме того, при несовпадении углов центрального отверстия и центра возрастает износ центров и их нагрев.

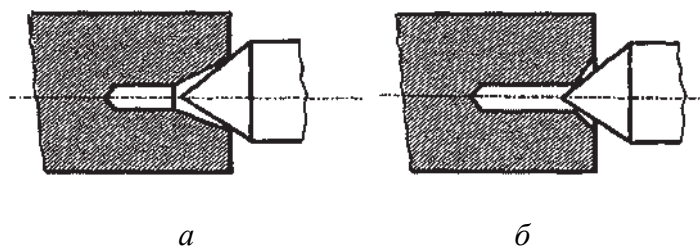


Рис. 17.3. Базирование заготовки  
при отклонении угла конуса центрального отверстия

Шероховатость центрального отверстия при черновой обработке шпинделя должна быть не более  $Ra1,25$ , а при чистовой –  $Ra0,32$ . Площадь пятна контакта при проверке калибром – не менее 60...85 %. Эти параметры определяют как точность вращения заготовки, так и условия трения в зоне контакта «опорная поверхность центрального отверстия – установочная поверхность центра». В случае полых цилиндров (с центральным отверстием) в качестве технологических баз используют центральные отверстия, выполненные в специальных пробках или разжимных оправках, устанавливаемые в цилиндрические или конические отверстия (рис. 17.4).

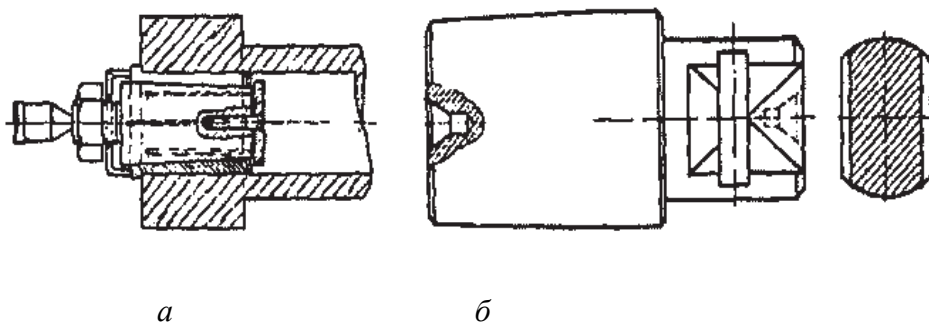


Рис. 17.4. Приспособления для установки заготовок шпинделей в центрах:

*а* – разжимная оправка; *б* – пробка

Необходимо иметь в виду, что пробки при смене их на различных операциях могут дать существенные погрешности установки, которые повлияют на точность расположения центрального отверстия относительно опорных поверхностей. Для уменьшения погрешности чистовые и отделочные операции необходимо выполнять на одних и тех же пробках, вставленных в вал, без их замены.



При использовании центровых отверстий и базовых фасок в качестве технологических баз установку вала производят на жёсткие и вращающиеся центры. При установке на жёсткий центр обязательна набивка центрального отверстия консистентной смазкой для уменьшения трения. Крутящий момент на заготовку передаётся поводковыми патронами различной конструкции.

При обработке внутренних поверхностей вала в качестве технологических баз используют опорные поверхности под подшипники. В тех случаях, когда опорные поверхности расположены на значительном расстоянии от концов вала, на черновых и получистовых операциях в качестве технологических баз используют другие точные наружные цилиндрические поверхности, расположенные ближе к концам вала и обработанные за один установ с опорными поверхностями. Закрепление заготовки при этом производят обычно в трёхкулачковом патроне с использованием люнета.

На чистовых и отделочных операциях заготовку для уменьшения влияния погрешности базирования на точность взаимного расположения опорных и установочных поверхностей обязательно базируют на опорные поверхности. Устанавливая заготовку в жёстких опорах, при необходимости создают силу, обеспечивающую прижим заготовки к опорным поверхностям приспособления. В зону контакта «заготовка – опорная поверхность» для уменьшения трения и предотвращения повреждения базовых поверхностей вала подаётся капельная смазка. Крутящий момент передаётся через гибкий поводок.

## 17.4. ОБРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

### 17.4.1. Обработка торцов и центровых отверстий

#### **Черновая обработка**

В единичном производстве торцы и центровые отверстия на исходной заготовке в зависимости от её размеров обрабатывают за одну или две операции на токарном, фрезерном или сверлильном станке соответственно.

Заготовки некрупных валов (длиной до 500 мм и диаметром до 100 мм) обрабатывают на универсальных токарных станках за два установа (рис. 17.5, *a*). Заготовку закрепляют в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне (ГОСТ 2675–80). Заготовки, полученные свободной ковкой и имеющие значительные (до 3...5 мм) отклонения формы наружных поверхностей, могут быть закреплены в четырёхкулачковом патроне с независимым перемещением кулачков (ГОСТ 3890–82). Подрезку торца осуществляют резцами, обработку центровых отверстий – центровочными свёрлами, закреплёнными в цанговом или трёхкулачковом сверлильном патроне (ГОСТ 8522–79) и установленными в пиноль задней бабки токарного станка.

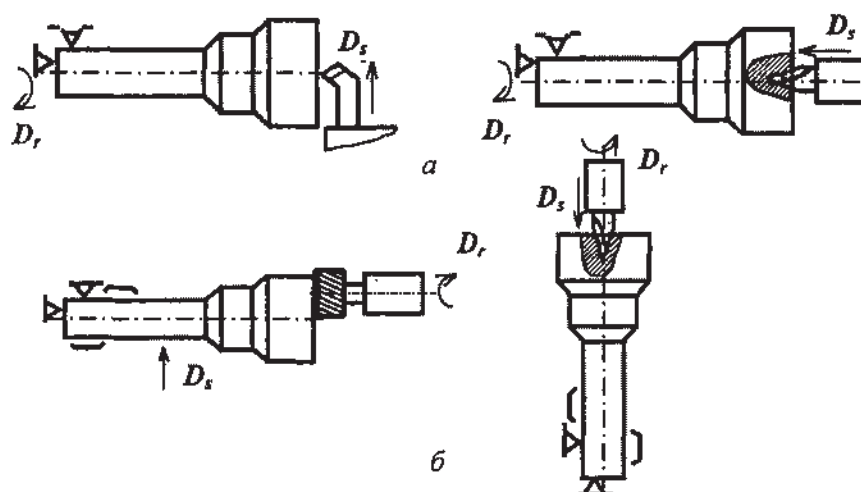


Рис. 17.5. Схема обработки торцов и центровых отверстий на универсальном токарном станке (*a*) и горизонтально-фрезерном и сверлильном станках (*б*)

У заготовок более крупных валов торцы обрабатывают на горизонтально-фрезерных станках за два установа, центровые отверстия обрабатывают на радиально-сверлильных станках также за два установа (рис. 17.5, *б*). Возможна также обработка центровых отверстий на горизонтально-расточных станках. При необходимости после фрезерования торцов выполняют разметку центровых отверстий. В обоих случаях заготовку закрепляют в станочных самоцентрирующих тисках с призматическими губками (ГОСТ 21168–75) или в обычных станочных тисках (ГОСТ 16518–96).

В серийном производстве торцы и центровые отверстия на исходной заготовке обрабатывают на фрезерно-центровальных станках-полуавтоматах за один установ (рис. 17.6). Заготовку закрепляют в станочных винтовых самоцентрирующих рычажных тисках (ГОСТ 21167–75) или с призматическими губками (ГОСТ 21168–75) либо в самоцентрирующих тисках с механизированным приводом.

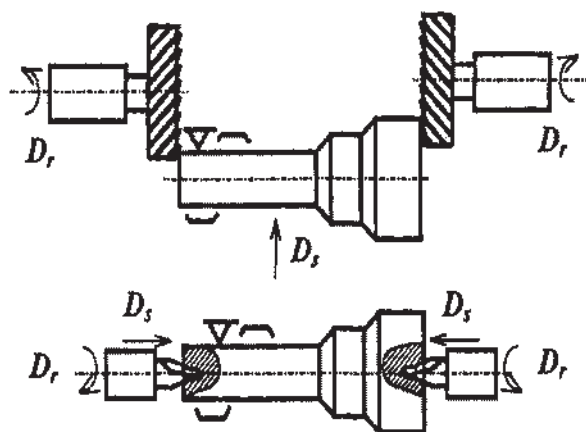


Рис. 17.6. Схема обработки торцов и центровых отверстий на фрезерно-центровальном станке

На рис. 17.7 показаны механизированные тиски с пневматическим приводом. При поступлении воздуха в правую полость пневмоцилиндра 4 поршень 5 и шток 1 вместе с губкой 3 перемещаются влево, а губка 2 благодаря реечной передаче – вправо, что обеспечивает центрирование заготовки.

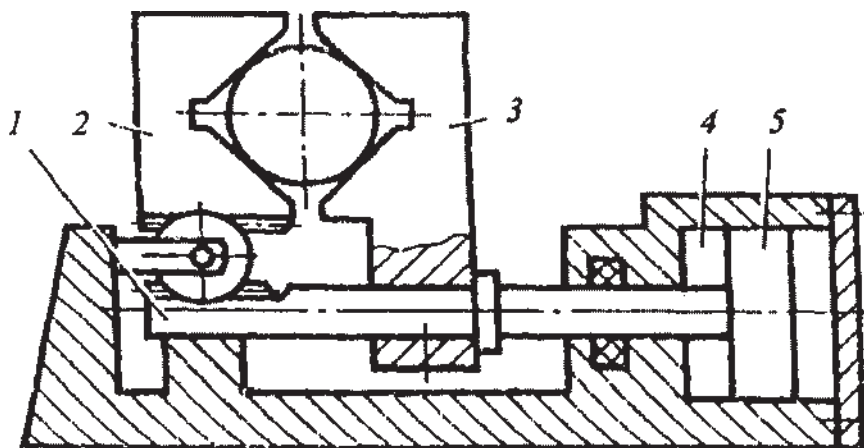


Рис. 17.7. Тиски самоцентрирующие с механизированным приводом

Помимо более высокой производительности, достоинством данного метода обработки является возможность обработки торцов и центровых отверстий с одного установа и создания, таким образом, основных технологических баз с минимальными погрешностями.

При обработке торцов на токарных станках применяют резцы с механическим креплением многогранных пластин (ГОСТ 26611–95). Материал режущей части – твёрдый сплав ВК8, Т5К10. Режим обработки: глубина резания – 3...5 мм, скорость резания – 80...120 м/мин, подача – 0,6...1,2 мм/об.

Независимо от типа станка для фрезерования торцов заготовки используют фрезы торцевые насадные со вставными ножами или с механическим креплением пятигранных пластин (ГОСТ 22087–76). Материал режущей части – твёрдый сплав ВК8, Т5К10, Т14К8. Режим обработки: глубина резания – 3...5 мм, скорость резания – 100...150 м/мин, подача на зуб – 0,1...0,2 мм.

Для получения центровых отверстий формы А, В или R (см. рис. 17.2) используют свёрла центровочные (ГОСТ 14952–75) типов А, В или R соответственно. Свёрла изготавливают из быстрорежущей стали Р6М5, Р9 и др. Режим обработки: скорость резания – 8...15 м/мин, подача – 0,02...0,07 мм/об.

### **Получистовая, чистовая и отделочная обработка**

На этапах получистовой, чистовой и отделочной обработки вводят операции правки центровых отверстий. Это необходимо для удаления окалины после операций термической обработки и повышения точности формы опорных поверхностей центровых отверстий и точности их взаимного расположения.

В единичном производстве центровые отверстия формы А, В или R (см. рис. 17.2) до операций основной термической обработки обрабатывают зенковками центровочными (ГОСТ 14953–80). Центровые отверстия форм А и В можно также раскатывать упорными центрами (ГОСТ 13214–79, ГОСТ 2575–79) с твердосплавными вставками (ГОСТ 2209–90). Обработку в обоих случаях производят на токарных станках с ручным управлением (рис. 17.8).

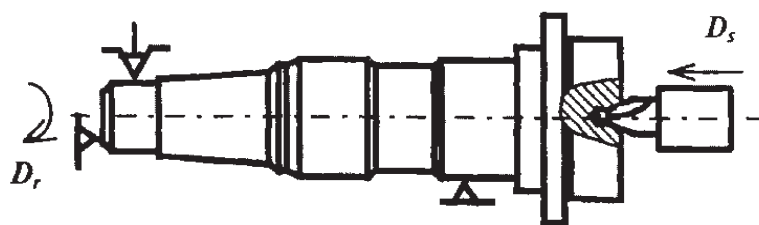


Рис. 17.8. Схема зенкерования и правки центрального отверстия на токарном станке с люнетом

Заготовку одним концом устанавливают в трёхкулачковом патроне по наружной цилиндрической поверхности, а другим концом – в люнете.

Люнет представляет собой приспособление для установки на токарных станках деталей типа тел вращения по наружной цилиндрической поверхности. Конструкция неподвижного люнета приведена на рис. 17.9.

В корпусе люнета 1 установлены два шарикоподшипника 5. В отверстие крышки 2 вставлен валик 3 с пружиной, на конце которого подвижно закреплена серьга 4 с двумя шарикоподшипниками 5. При закреплении обрабатываемой заготовки опускают крышку люнета и гайкой регулируют положение валика. Затем рукояткой поворачивают эксцентрик 6, в специальный паз которого входит штифт, установленный в крышке, и крышка перемещается к центру люнета. При этом пружина прижимает серьгу с верхними подшипниками в заготовке, и последняя закрепляется между верхними и нижними подшипниками люнета. Отклонения от круглости базировочной поверхности заготовки при этом воспринимаются и компенсируются пружиной.

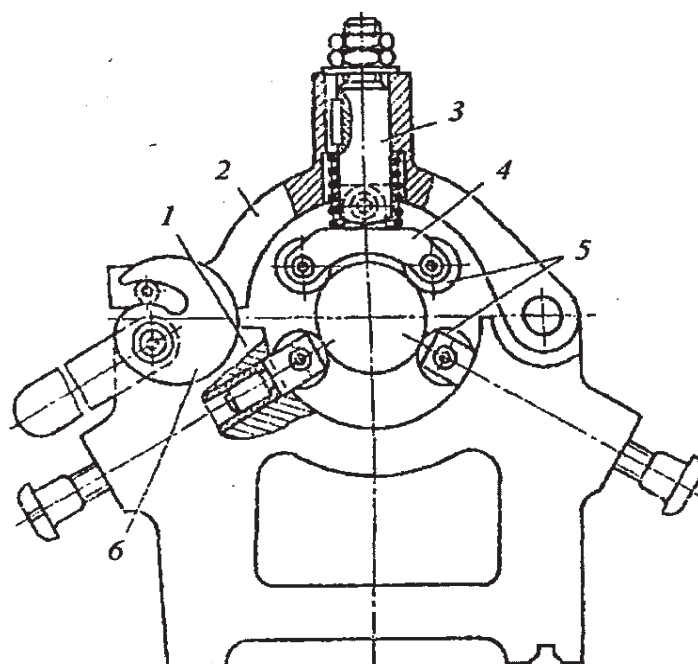


Рис. 17.9 Люнет универсальный неподвижный

Центровочную зенковку закрепляют в цанговом или трёхкулачковом сверлильном патроне, установленном в пиноли задней бабки; упорный центр устанавливают непосредственно в пиноль задней бабки токарного станка.

Режим обработки: скорость резания при зенкеровании – 8...15 м/мин, при раскатывании – 3...6 м/мин; подача в обоих случаях ручная.

После основной термической обработки центровые отверстия формы R притирают чугунными профильными притирами, а центровые отверстия форм А и В — упорными центрами с твердосплавными вставками вручную на токарных станках. В качестве абразивного материала используют суспензии, содержащие микропорошки (ГОСТ 9206–80) электрокорунда нормального 13А, электрокорунда белого 23А или карбида кремния зелёного 62С зернистостью М40-М5, а также веретённое масло и олеиновую кислоту. Микропорошки с меньшей зернистостью используют при выполнении заключительных операций технологического процесса изготовления вала. Режим обработки: скорость резания – 5...10 м/мин, давление притира – 0,05...0,1 МПа.

Возможно также шлифование центровых отверстий форм А и В на круглошлифовальных или внутришлифовальных станках.

Перечисленные методы позволяют получить достаточно высокое качество базовых поверхностей центровых отверстий ( $Ra_{0,2}$ ), но не обеспечивают их соосности, в связи с чем могут быть рекомендованы только при изготовлении валов нормальной точности.

В серийном производстве при изготовлении прецизионных валов центровые отверстия форм А и В обрабатывают на специализированных центрошлифовальных станках (рис. 17.10). Заготовку устанавливают вертикально на упорный центр по центровому отверстию и специальный неподвижный люнет с регулируемыми опорами. Регулировкой положения опор люнета обеспечивают соосность базового и обрабатываемого центровых отверстий. Заготовка при обработке, как правило, неподвижна, но существуют станки и с вращательным движением заготовки. Шлифование производят головками шлифовальными коническими (форма EW, ГОСТ 2447–82). Абразивный материал шлифовальной головки – электрокорунд белый 24А или 25А, зернистость 16...40, степень

твёрдости круга С1-СТ2. Помимо круговой подачи и подачи на врезание, шлифовальная головка совершает также осциллирующее движение вдоль образующей обрабатываемого отверстия, что обеспечивает рациональную макрогеометрию обработанной поверхности. Режим обработки: скорость резания – 20...35 м/с, круговая подача – 20...40 м/мин, подача на врезание – 0,005...0,02 мм/ход. Достижимая соосность центровых отверстий – 5...8 мкм, шероховатость базовой поверхности –  $Ra_{0,2}$ .

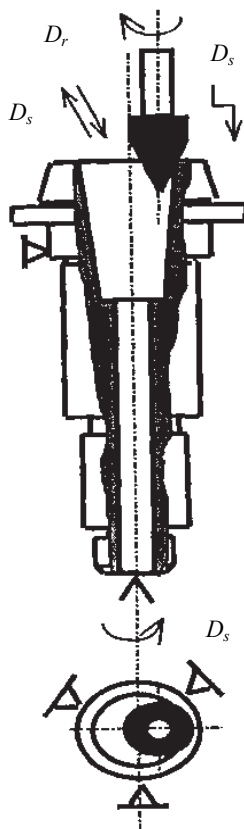


Рис. 17.10. Схема обработки базовой фаски на центрошлифовальном станке

Центровые отверстия с непрямолинейной образующей (форма R) в серийном производстве, так же как и в единичном, притирают чугунными профильными притирами. Такой метод обработки, несмотря на плохое обеспечение соосности центровых отверстий, применим и в производстве прецизионных валов, поскольку требования к соосности таких отверстий также невелики.

При изготовлении полых валов на этапах получистовой, чистовой и отделочной обработки в качестве базовых поверхностей могут быть использованы фаски центрального отверстия. В этом случае их также подвергают правке по технологии, описанной выше.



## 17.4.2. Обработка наружных поверхностей

### Черновая и получистовая обработка

В единичном производстве черновую и получистовую обработку наружных цилиндрических, конических и торцевых поверхностей производят на универсальных токарных станках с ручным управлением и токарных станках с ЧПУ (рис. 17.11).

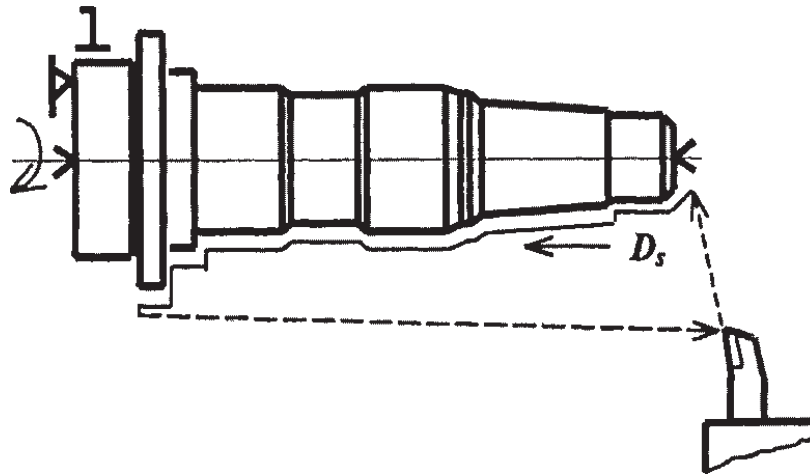


Рис. 17.11. Схема обработки наружных поверхностей на токарном станке с ЧПУ

Поскольку многие валы имеют большое количество обрабатываемых поверхностей (на черновых и получистовых операциях до 10...15), применение токарных станков с ручным управлением сопряжено с большими затратами на настройку инструментов и приспособлений. В связи с этим использование станков с ЧПУ экономически оправдано даже для мелких партий заготовок.

В серийном производстве черновую и получистовую обработку наружных поверхностей производят на токарных станках с гидрокопировальным суппортом и многорезцовых токарных станках.

При использовании станков с гидрокопировальным суппортом наружные цилиндрические и конические (с углом конуса до  $30^\circ$ ) поверхности последовательно обрабатываются одним резцом, размещённым на продольном суппорте. При этом настройка инструмента на размер производится только по одной обрабатываемой поверхности; остальные диаметральные размеры выдерживаются автоматически за счёт копира. Канавки, торцы и фаски обрабатываются резцами, размещёнными на поперечном суппорте (рис. 17.12).

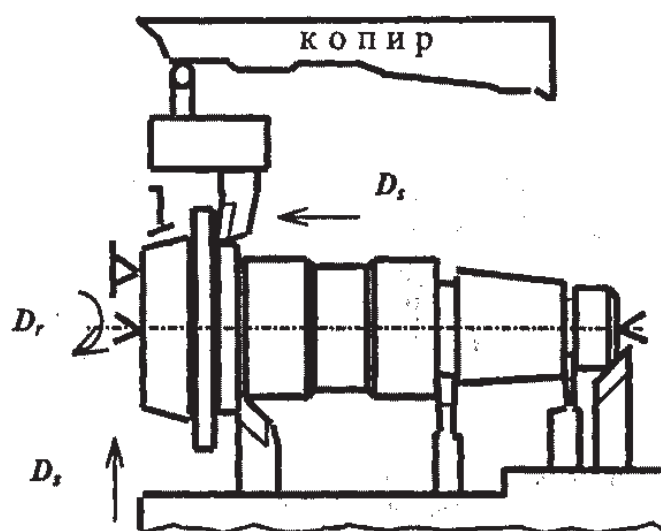


Рис. 17.12. Схема обработки наружных поверхностей на токарном станке с гидроконтролируемым суппортом

На многолезцовых токарных станках одновременно обрабатываются все поверхности (рис. 17.13): цилиндрические – резцами, размещенными на продольном суппорте; канавки, торцевые поверхности и фаски – резцами, размещенными на поперечном суппорте. Обработка длинных конических поверхностей на многолезцовых станках невозможна.

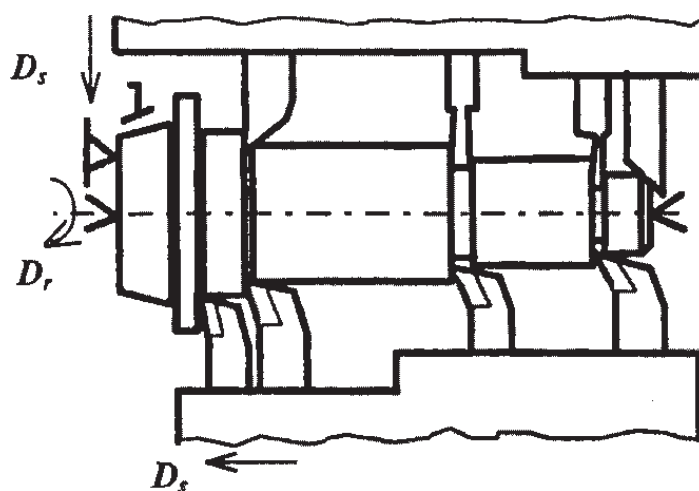


Рис. 17.13. Схема обработки наружных поверхностей на многолезцовом токарном станке

Многолезцовые токарные станки отличаются простотой конструкции, высокой надёжностью и относительно низкой ценой. Недостатком их являются значительное время наладки (до 0,1...1,5 ч) и большие силы резания при обработке.

Применение токарных станков с гидроконтролируемым суппортом целесообразно при обработке нежёстких заготовок. Время наладки станков составляет 20...30 мин, что позволяет использовать их и в мелкосерийном производстве.

Заготовку при черновой и получистовой токарной обработке независимо от типа используемого оборудования устанавливают в упорных центрах (ГОСТ 13214–79, ГОСТ 2575–79), при этом задний центр может быть срезанным (полуцентр) для обеспечения возможности подрезки торца. При частоте вращения заготовки более 200 об/мин рекомендуется использование заднего вращающегося центра (ГОСТ 8742–75). Левый торец заготовки поджимают к опорному кольцу, от которого производят настройку линейных размеров. Крутящий момент на заготовку передаётся через поводковый патрон (ГОСТ 2571–71) и хомутик (ГОСТ 2578–70).

Основной недостаток стандартных поводковых патронов и хомутиков – необходимость больших затрат ручного труда на установку и снятие хомутика.

В серийном производстве для установки заготовки используют специальные самозахватывающие поводковые патроны. Одна из конструкций таких патронов приведена на рис. 17.14.

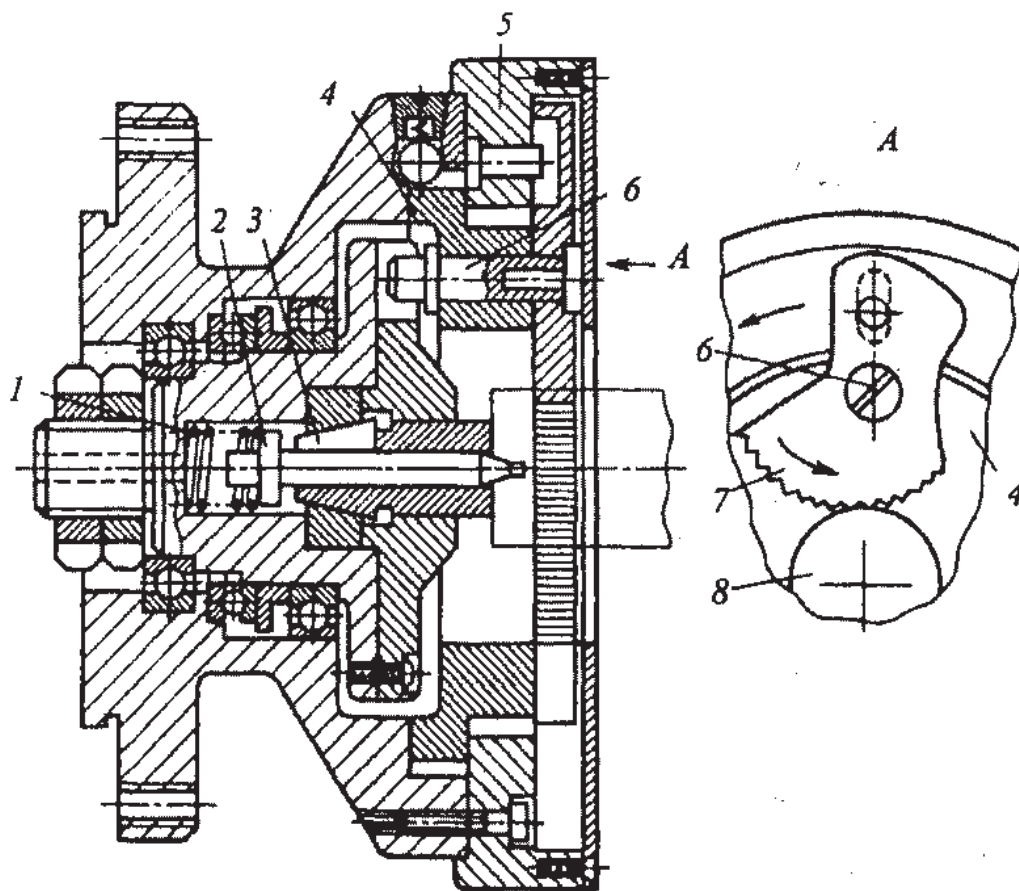


Рис. 17.14. Патрон поводковый самозажимной

В таком патроне для закрепления заготовки используют силы резания. Заготовка в радиальном направлении базируется на подпружиненный центр 2. При поджиме заготовки задним центром она смещается влево, сжимая пружину 1, пока торец не упрётся в цангу 3, которая зажимает передний центр. Для передачи крутящего момента служат кулачки 7 с криволинейной рифлёной рабочей поверхностью. В момент включения шпинделя начинает вращаться кольцо 5. Так как кольцо 4 с осями 6 ещё остаётся на месте, кулачки поворачиваются на осях до соприкосновения с поверхностью заготовки 8. Кольцо 4 выполнено плавающим для выравнивания сил закрепления всеми кулачками при биении поверхностей заготовки.

В начале обработки под действием сил резания, стремящихся остановить заготовку, кулачки дополнительно поворачиваются вокруг осей 6 в направлении стрелки и рифлёной поверхностью ещё сильнее прижимаются к заготовке, заклинивая её. Открепление заготовки после обработки происходит путём её поворота по инерции в направлении вращения при торможении шпинделя. Такая конструкция поводкового патрона, помимо сокращения времени на установку и снятие заготовки, повышает точность её базирования в осевом направлении, так как левый базовый торец у всех заготовок, обрабатываемых в патроне, занимает одно и то же положение независимо от глубины центрального отверстия.

Перспективна черновая обработка шпинделей с использованием зубчатых поводковых патронов, которые передают крутящий момент через торец, оставляя свободной для обработки всю наружную поверхность заготовки. Одна из конструкций зубчатого поводкового патрона приведена на рис. 17.15.

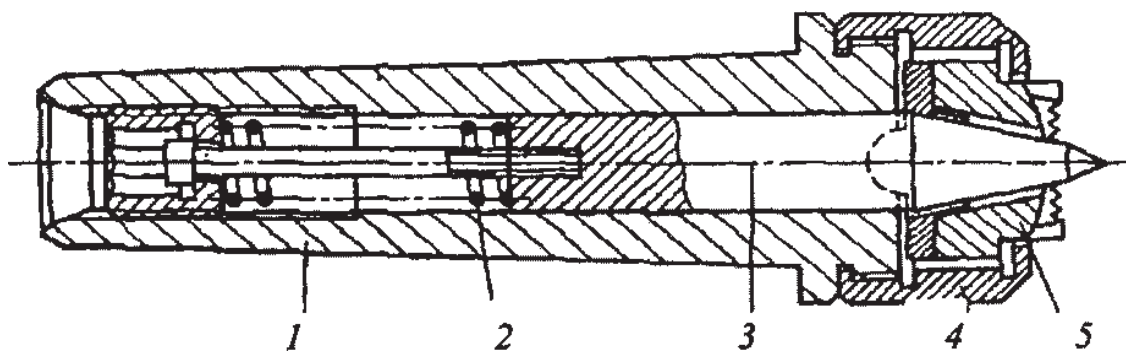


Рис. 17.15. Патрон поводковый зубчатый

Зубчатый поводковый патрон имеет подпружиненный плавающий центр 3 и зубчатый поводок 5, установленные в корпусе 1. Напряжение пружины 2 регулируется гайкой. Стакан 4 удерживает поводок, но с достаточным зазором, чтобы поводок, опираясь на шарнирное соединение с корпусом, мог самоустанавливаться по торцу заготовки. Для передачи крутящего момента на торце поводка имеются острые закалённые зубцы.

При обработке нежестких заготовок, а также при выполнении ряда операций используют неподвижные или перемещаемые люнеты.

Независимо от типа используемых станков, черновую обработку наружных поверхностей заготовок валов производят токарными резцами с механическим креплением многогранных пластин (ГОСТ 20872–80, ГОСТ 26611–85) или с напайными пластинами (ГОСТ 18877–73, ГОСТ 18878–73, ГОСТ 18879–73, ГОСТ 18884–73). Материал пластин – твёрдый сплав ВК8, Т5К10, Т5К12 для черновой обработки и ВК6, Т15К6, Т14К8 для получистовой обработки. Режим обработки: глубина резания – 3...12 мм, скорость резания – 100...150 м/мин, подача – 0,3...1,5 мм/об. Экономически целесообразная точность черновой обработки – 12-й квалитет, шероховатость –  $Ra_{12,5}$  и грубее, точность получистовой обработки – 9-й квалитет, шероховатость –  $Ra_{3,2...6,3}$ .

### **Чистовая обработка**

Чистовую обработку наружных поверхностей вала можно выполнять методом абразивной или лезвийной обработки. Выбор того или иного технологического метода во многом определяется традициями предприятия, имеющимся оборудованием и инструментом. В целом лезвийная обработка производительнее абразивной. При лезвийной обработке практически исключена вероятность термического повреждения обработанной поверхности (прижог). Кроме того, при лезвийной обработке не происходит шаржирования поверхности и в поверхностном слое создаются напряжения сжатия, что весьма благоприятно сказывается на работоспособности опор под подшипники скольжения. Абразивная обработка позволяет обеспечить более высокую точность размеров и, что бывает особенно важно для прецизионных валов, точность формы обработанных поверхностей.

Абразивную обработку наружных поверхностей в единичном производстве выполняют на универсальных круглошлифовальных станках и круглошлифовальных станках с ЧПУ. В серийном производстве используют круглошлифовальные станки-полуавтоматы и круглошлифовальные станки с ЧПУ. В зависимости от требований к точности и качеству поверхностей, в технологическом процессе может быть от одной до трёх шлифовальных операций, последовательно приближающих параметры обрабатываемой поверхности к заданным.

При обработке наружных цилиндрических поверхностей используют как продольное, так и врезное шлифование (рис. 17.16).

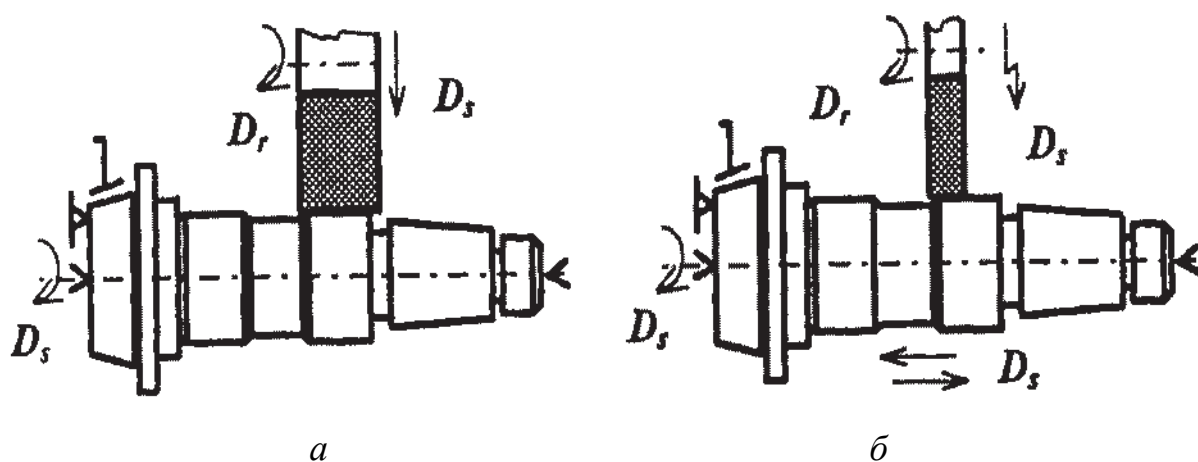


Рис. 17.16. Схема обработки наружных цилиндрических поверхностей методами врезного (а) и продольного (б) шлифования

Врезное шлифование (рис. 17.16, а) применяют при обработке относительно коротких поверхностей (до 50...80 мм). Основное преимущество врезного шлифования – высокая производительность, превышающая даже производительность лезвийной обработки. Недостатком этой схемы обработки является необходимость частой и точной правки шлифовального круга для обеспечения высокой точности продольного сечения обрабатываемой поверхности.

Продольное шлифование (рис. 17.16, б) является более универсальным методом обработки. Длина обрабатываемой поверхности ограничивается только величиной продольного перемещения стола круглошлифовального станка. При продольном шлифовании ниже требования к точности профиля шлифовального круга.

При продольном и врезном шлифовании цилиндрических поверхностей применяют круги прямого профиля (тип ПП). При шлифовании цилиндрической поверхности с одновременной подшлифовкой прилегающего торца применяют круги с выточкой (форма ПВ), с конической выточкой (форма ПВК) или с двусторонней выточкой (форма ПВД). Цилиндрическую поверхность при этом обрабатывают с продольной подачей, а торец – с поперечной подачей (рис. 17.17).

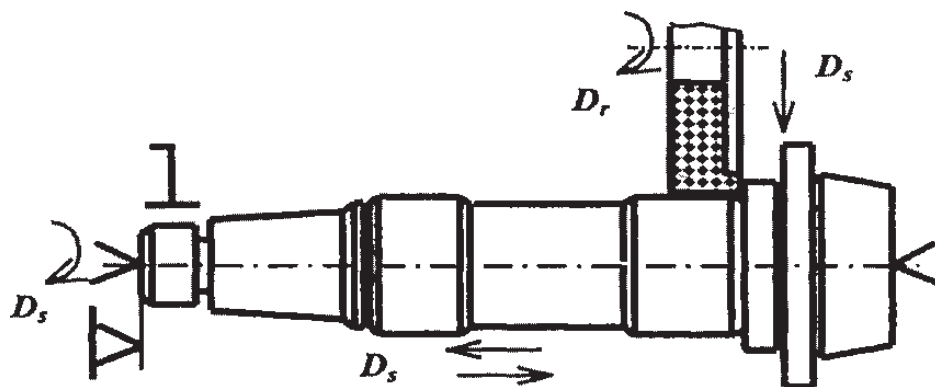


Рис. 17.17. Схема обработки цилиндрической поверхности с одновременной подшлифовкой прилегающего торца шлифовальным кругом с выточкой

Короткие цилиндрические поверхности (например, подшипниковые шейки) с прилегающими к ним торцевыми поверхностями обрабатывают кругами двустороннего конического профиля (форма 2П) методом врезного шлифования с подачей шлифовальной бабки под углом к оси вращения заготовки (рис. 17.18).

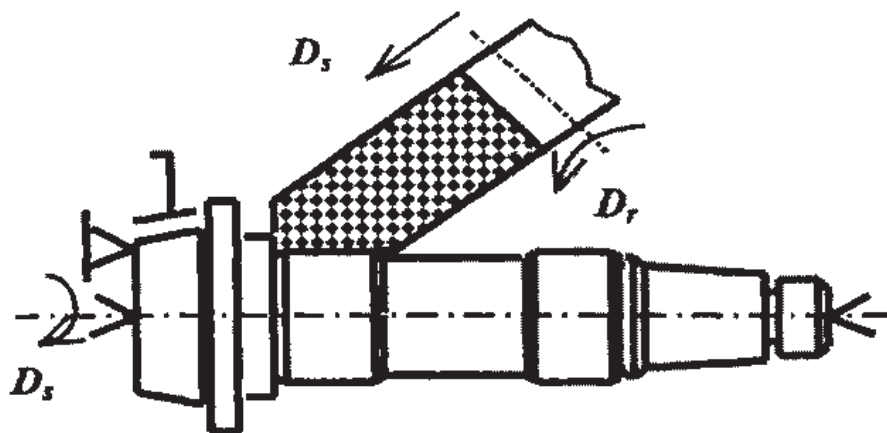


Рис. 17.18. Схема обработки цилиндрической поверхности с прилегающим торцом методом врезного шлифования кругом двустороннего конического профиля



Протяженные конические поверхности ( $L \gg D_{\min}$ ) обрабатывают с использованием метода продольного шлифования кругами прямого профиля с поворотом стола станка с установленной на нём заготовкой на требуемый угол (рис. 17.19).

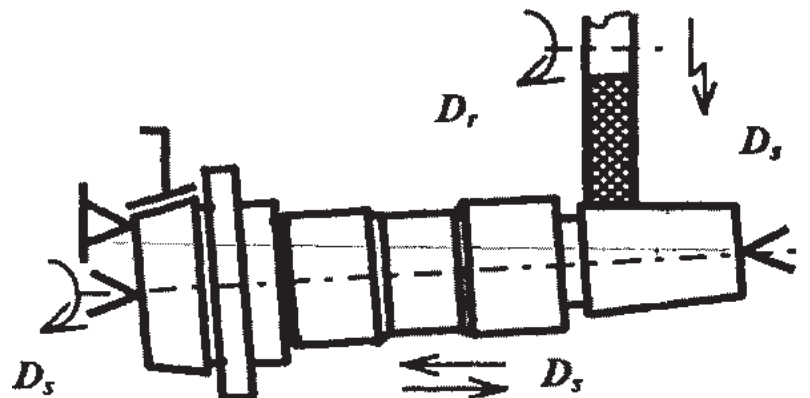


Рис. 17.19. Схема обработки длинной конической поверхности с поворотом стола шлифовального станка

Величина угла поворота стола составляет  $5...30^\circ$  в зависимости от модели применяемого круглошлифовального станка.

Короткие конические поверхности обрабатывают с использованием метода врезного шлифования кругами прямого профиля с поворотом стола или шлифовальной бабки либо специально спрофилированными коническими кругами без поворота стола или бабки (рис. 17.20).

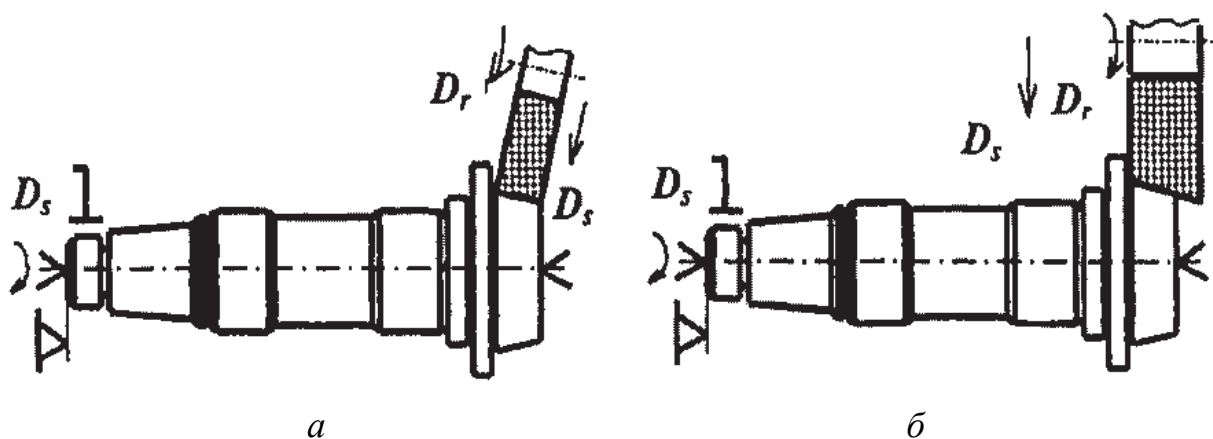


Рис. 17.20. Схемы шлифования коротких конических поверхностей с поворотом шлифовальной бабки (а) и профилированным кругом (б)

Основным достоинством этих способов является высокая производительность. Кроме того, при использовании профилированных конических кругов

возможна обработка сразу нескольких поверхностей одновременно несколькими кругами. Основным недостатком, характерным для врезного шлифования, – необходимость частой и точной правки шлифовальных кругов.

Для установки заготовок на шлифовальных операциях используют упорные центры (ГОСТ 13214–79, ГОСТ 2575–79), крутящий момент передаётся от поводковой планшайбы шлифовального станка через хомутик (ГОСТ 16488–70). Для уменьшения времени на закрепление (открепление) заготовки используют самозажимающие хомутики.

Шлифование производят шлифовальными кругами на керамической связке (ГОСТ 2424–83). Форма круга выбирается в зависимости от формы обрабатываемой поверхности и метода шлифования. Абразивный материал – электрокорунд нормальный 14А для предварительного шлифования и электрокорунд белый 22А, 23А или 24А для окончательного шлифования. Зернистость абразива – 16...40 (для обеспечения более высокого качества поверхности выбирают абразив меньшей зернистости). Степень твёрдости кругов: СМ1, СМ2, С1, С2. Номер структуры: 5...7. Режим обработки: глубина резания – 0,01...0,05 мм; скорость резания – 30...35 м/с; круговая подача заготовки – 10...30 м/мин; продольная подача – (0,1...0,25)В, мм/об заготовки, где В – ширина круга; радиальная подача при врезном шлифовании – 0,0025...0,075 мм/об. Достижимая точность размеров – 6-й квалитет, точность формы обработанных поверхностей – 3...8 мкм, шероховатость –  $Ra0,2$ .

Необходимо отметить, что абразивная обработка приводит к шаржированию обработанной поверхности заготовки. Поэтому при изготовлении высокоответственных валов на опорах скольжения после шлифования необходимо тем или иным методом удалить зёрна абразива, внедрённые в поверхности, работающие в парах трения. Для этой цели может быть использована, например, ультразвуковая очистка.

Лезвийную чистовую обработку наружных поверхностей в единичном производстве выполняют на универсальных токарных станках и токарных станках с ЧПУ. В серийном производстве используют только станки с ЧПУ. В

связи с высокими требованиями к качеству обработки класс точности применяемого оборудования должен быть не ниже В. Схемы обработки и оснастка, применяемая для установки заготовок, не отличаются от используемых при полустачевой токарной обработке.

Обработку производят резцами токарными сборными с механическим креплением пластин (ТУ 2-035-811-81), с материалом режущей части на основе нитрида бора: композит – 01 (эльбор – РМ), композит – 02, композит – 10 (гексанит – Р) и др. Форма и размеры пластин выбираются в соответствии с ТУ 2-035-808-81. Также используют резцы токарные сборные с механическим креплением многогранных минералокерамических пластин (ГОСТ 20872–80 и др.). Резцы оснащены режущими пластинками из керамики ВСК-60, В-3, ВСК-71 (ГОСТ 25003–81). Режим обработки: глубина резания – 0,05...0,15 мм, скорость резания – 60...120 м/мин, подача – 0,03...0,15 мм/об. Достижимая точность размеров – 6-й квалитет, точность формы обработанной поверхности – 5...10 мкм, шероховатость –  $Ra0,4$ .

Применяемые при чистовом точении инструментальные материалы обладают низкой ударной вязкостью, в связи с чем желательно, чтобы обрабатываемые поверхности не прерывались шпоночными пазами или радиальными отверстиями, а оборудование было достаточно жёстким.

### **Отделочная обработка**

Отделочной обработке подвергают опорные поверхности под подшипники и посадочные поверхности под инструмент и технологическую оснастку прецизионных валов. При отделочной обработке используют следующие технологические методы: суперфиниширование, притирку, тонкое шлифование.

Суперфиниширование не повышает точности размера и геометрической формы обрабатываемой поверхности. Основная цель суперфиниширования – снижение шероховатости и волнистости. Для суперфинишной обработки используют специальные суперфинишные или модернизированные токарные станки. Заготовку устанавливают в жёстких центрах, крутящий момент передают через поводковый патрон и хомутик. Суперфиниширование производят

при вращательном движении обрабатываемой детали и коротких колебательных движениях абразивных брусков, закрепляемых в специальной головке (рис. 17.21).

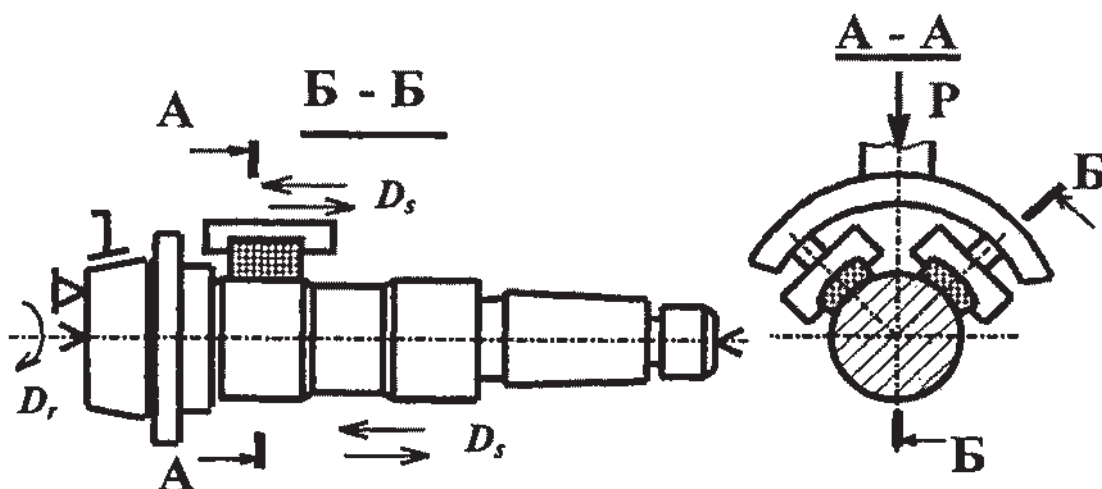


Рис. 17.21. Схема суперфиниширования наружной цилиндрической поверхности

Абразивный материал брусков – электрокорунд хромотитанистый 91А, карбид кремния зелёный 63С или эльбор ЛО. Зернистость абразива: М14-М28. Связка – керамическая, степень твёрдости брусков – М1, М2. Режим обработки: скорость колебательного движения брусков – 8...15 м/мин, амплитуда колебаний брусков – 2...4 мм, линейная скорость вращения заготовки – от 12...15 м/мин в начале цикла обработки до 30 м/мин в конце цикла. Суперфиниширование применяют преимущественно для обработки ответственных поверхностей валов тяжёлых станков, тонкое шлифование или доводка которых вызывает большие трудности, а также для получения очень малой шероховатости ( $Ra0,05$  и менее).

Притирка дает возможность получения высокой точности геометрической формы обработанной поверхности (отклонение от круглости в пределах 0,4...0,5 мкм) и высокого качества поверхности ( $Rz0,025...Rz0,1$ ). Притирке обычно подвергают только опорные поверхности под подшипники качения. Это объясняется более интенсивным, чем при работе связанным абразивом, шаржированием обрабатываемой поверхности при доводке. Притирку производят на токарных станках при установке заготовки в центрах (рис. 17.22) вручную при помощи притиров из серого чугуна СЧ18, СЧ21, СЧ24. Чем выше

твёрдость обрабатываемой поверхности, тем выше должна быть твёрдость чугунного притира. Длина притира не должна превышать  $1/3 \dots 1/2$  длины обрабатываемой поверхности.

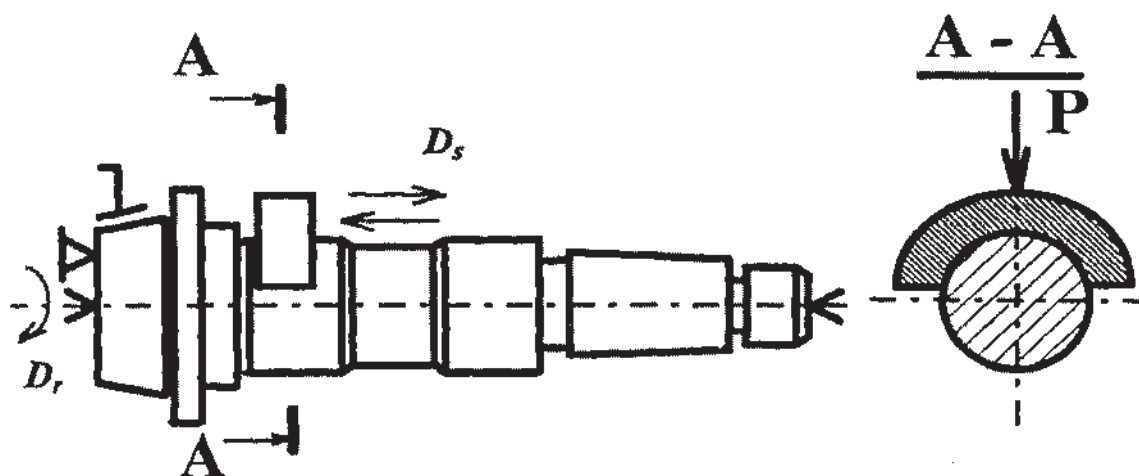


Рис. 17.22. Схема доводки наружной цилиндрической поверхности

При притирке применяют абразивные пасты на основе электрокорунда нормального 13А, электрокорунда белого 23А, электрокорунда хромистого 33А и 34А, карбида кремния зелёного 62С или карбида бора КБ зернистостью М28-М3, а также алмазные пасты зернистостью 28/20-5/3. Частота вращения заготовки при притирке составляет 100...125 об/мин в начальный период и около 50 об/мин при окончательной доводке. Операция эта весьма трудоёмка и требует высокой квалификации рабочего.

Тонким называют шлифование при глубине резания менее 0,01 мм. Тонкое шлифование наружных поверхностей выполняют на круглошлифовальных станках особо высокой точности. При тонком шлифовании используют продольное шлифование; схемы обработки и технологическая оснастка не отличаются от применяемых при чистовом шлифовании. Обработку производят, как правило, эльборовыми (марка ЛО) кругами (ГОСТ 17123–79) на керамической или металлической связке. Для шлифования наружных цилиндрических и конических поверхностей используют круги плоские прямого профиля (тип 1А1), для шлифования торцевых поверхностей – круги плоские с двусторонним коническим профилем (тип 1Е1, 1Е6) и плоские с выточкой (тип 6А2, 9А3). Зернистость кругов: 40/28-14/10. Твёрдость керамической связки: СМ1, СМ2.

Режим обработки: глубина резания – 0,002...0,005 мм; скорость резания – 25...50 м/с; круговая подача заготовки – 15...30 м/мин; продольная подача – 0,15В, мм/об заготовки, где В – ширина круга. Достижимая точность размеров – 5-й квалитет, точность формы – 1...2 мкм, шероховатость  $Ra_{0,1}$ .

### 17.4.3. Обработка внутренних поверхностей

#### Черновая обработка

Черновую обработку сквозного осевого отверстия в шпинделях производят на специальных горизонтально-сверлильных станках для глубокого сверления при вращении обрабатываемой заготовки и поступательном движении подачи режущего инструмента, что обеспечивает высокую прямолинейность оси и малую разностенность отверстия (рис. 17.23).

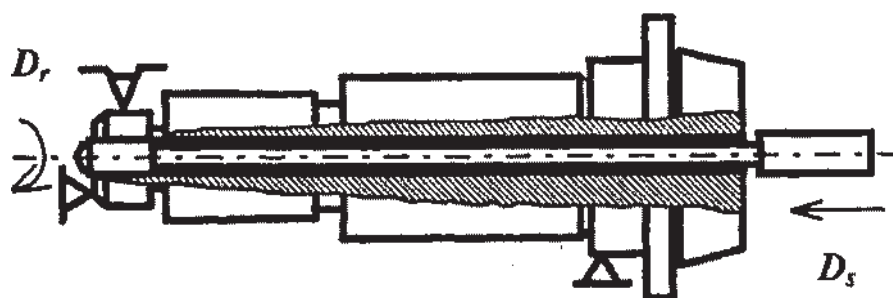


Рис. 17.23. Схема обработки центрального отверстия на горизонтально-сверлильном станке для глубокого сверления

Заготовку закрепляют в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне (ГОСТ 2675–80) и люнете. Отверстия диаметром до 30 мм обрабатывают свёрлами одностороннего резания с внутренним подводом СОЖ (ТУ 2-035-655-79), оснащёнными твердосплавными пластинами ВК6, ВК8; диаметром до 80 мм – перовыми свёрлами (ГОСТ 27724–88) с механическим креплением режущей пластины. Материал режущей части выбирают в соответствии с ГОСТ 25526–82.

Для сверления отверстий большего диаметра (до 200 мм) применяют кольцевые свёрла (ТУ 2-035-524-76), оснащенные резцами из быстрорежущей стали Р6М5, Р9 и других марок и позволяющие получать отверстия с сохранением керна – сердцевины заготовки (рис. 17.24).

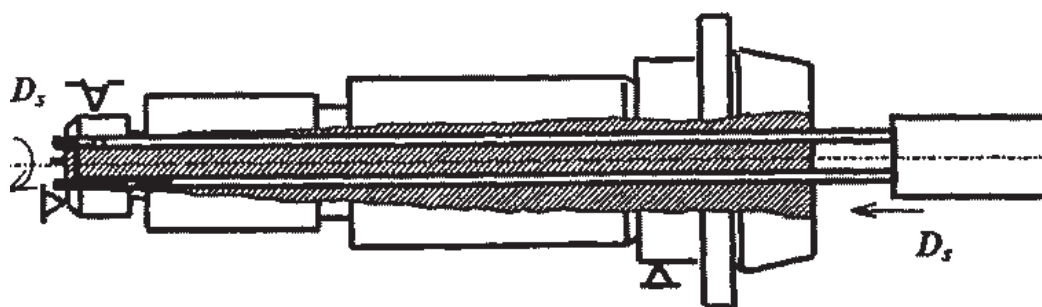


Рис. 17.24. Схема обработки центрального отверстия кольцевым сверлом

Поскольку длина рабочей части кольцевого сверла не превышает 450...500 мм, более глубокие отверстия сверлят обычно с двух установов: сначала отверстие сверлят с одной стороны на глубину 0,3...0,6 длины заготовки, а затем с другой стороны на проход.

Несквозные осевые отверстия обрабатывают на универсальных токарных станках спиральными свёрлами (ГОСТ 10903–77) из быстрорежущей стали Р6М6, Р9 и других при установке заготовки в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне (ГОСТ 2675–80) и люнете (рис. 17.25).

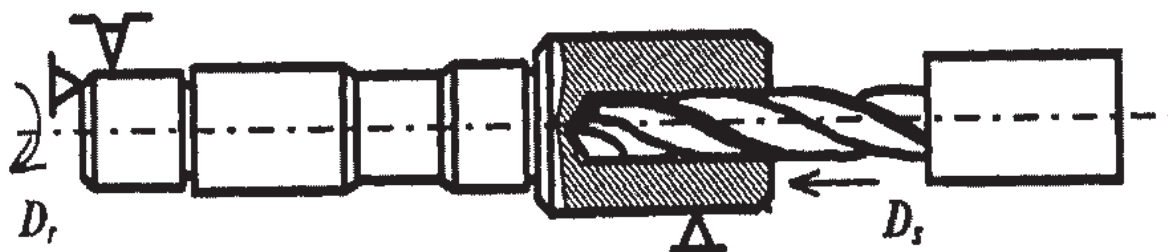


Рис. 17.25. Схема обработки центрального отверстия спиральным сверлом

Отверстия диаметром до 35 мм получают однократным сверлением; отверстия большего диаметра сначала сверлят, а затем рассверливают. Режим обработки: скорость резания – 20...30 м/мин, подача – 0,4...0,5 мм/об. Достижимая точность обработки – 12-й квалитет, шероховатость – Ra6,3...Ra12,5.

Черновую обработку отверстий в заготовках бесфланцевых шпинделей, изготавливаемых из трубных заготовок, производят растачиванием на токарных станках.



## Получистовая обработка

В единичном и мелкосерийном производстве получистовую обработку внутренних цилиндрических поверхностей выполняют на универсальных токарных станках с ручным управлением (рис. 17.26).

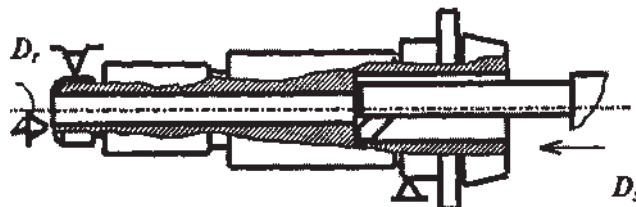


Рис. 17.26. Схема обработки внутренних цилиндрических поверхностей

Внутренние конические поверхности в единичном производстве получают растачиванием на универсальных токарных станках с ручным управлением с поворотом верхнего суппорта (рис. 17.27).

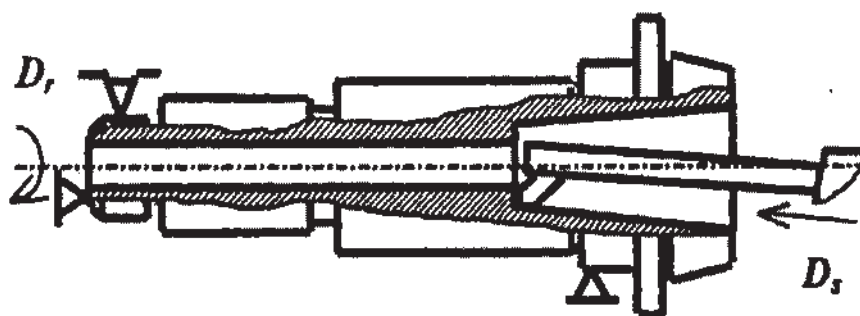


Рис. 17.27. Схема обработки внутренних конических поверхностей с поворотом верхнего суппорта

В серийном производстве обработку таких поверхностей выполняют на токарных станках с ЧПУ (рис. 17.28) или токарных станках с гидроконтролируемым суппортом (рис. 17.29).

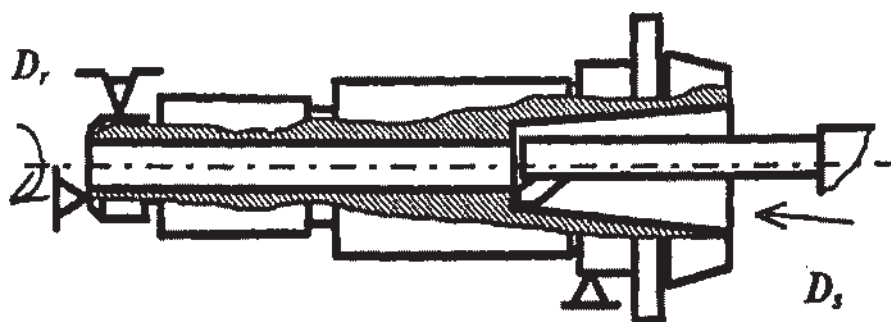


Рис. 17.28. Схема обработки внутренних конических поверхностей на токарном станке с ЧПУ

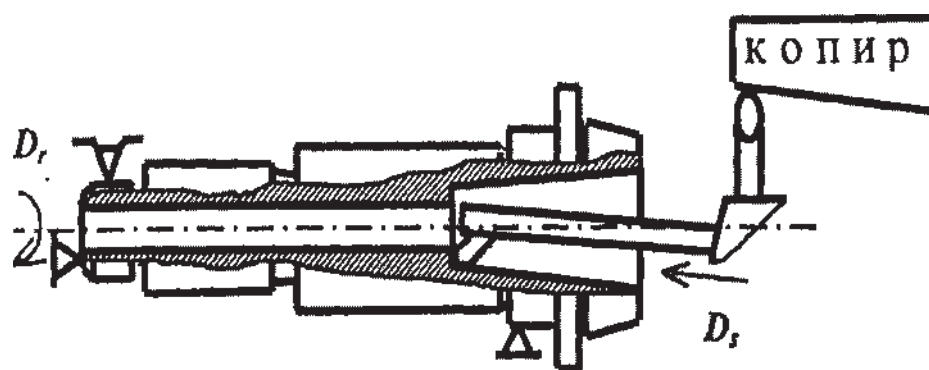


Рис. 17.29. Схема обработки внутренних конических поверхностей на токарном станке с гидроконтрольным суппортом

Заготовку устанавливают независимо от типа используемого станка в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне (ГОСТ 2675–80) и в люнете.

Обработку отверстий длиной до 200 мм производят расточными резцами с напайными пластинами (ГОСТ 18882–73, ГОСТ 18883–73) или с механическим креплением пластин (ГОСТ 26612–85). Материал пластин — твёрдый сплав ВК6, Т15К6, Т14К8. Отверстия большей длины обрабатывают резцами расточными державочными с напайными пластинами (ГОСТ 9795–84) или расточными цельными из твёрдого сплава (ГОСТ 18062–72, ГОСТ 18063–72), установленными в расточные оправки. Материал пластин и цельных резцов — твёрдый сплав ВК6, Т15К6, Т14К8. Режим обработки: глубина резания — 3...8 мм, скорость резания — 100...150 м/мин, подача — 0,3...0,7 мм/об. Достижимая точность обработки — 10-й квалитет, шероховатость —  $Ra_{3,2} \dots Ra_{6,3}$ .

### **Чистовая обработка**

Чистовую обработку внутренних поверхностей вала можно выполнять методом абразивной или лезвийной обработки. Как и при обработке наружных поверхностей, выбор того или иного технологического метода во многом определяется традициями предприятия, имеющимся оборудованием и инструментом. Лезвийная обработка производительнее абразивной. Абразивная обработка внутренних поверхностей сопряжена с более значительным тепловыделением в заготовку, чем при обработке наружных поверхностей, и, как следствие, с большей вероятностью её термического повреждения. Лезвийная обработка практически исключает возможность появления прижогов. Отсутствие шаржи-

рования поверхности при лезвийной обработке не является существенным фактором, поскольку внутренние поверхности, как правило, не работают в парах трения. Абразивная обработка позволяет обеспечить более высокую точность размеров и формы обработанных поверхностей.

В зависимости от требований к точности и качеству поверхностей в технологическом процессе может быть от одной до трёх операций чистовой обработки, последовательно приближающих параметры обрабатываемой поверхности к заданным.

При применении методов лезвийной обработки используют универсальные токарные станки с ручным управлением и токарные станки с ЧПУ классов точности не ниже В. Схемы обработки не отличаются от аналогичных при полустовой обработке.

Обработку производят резцами расточными державочными (ТУ 2-035-811-81), оснащёнными композитом 01 (эльбор РМ) или 10 (гексанит Р). Форма и размеры пластин выбирают в соответствии с ТУ 2-035-808-81. Также используют резцы расточные с механическим креплением многогранных минералокерамических пластин (ГОСТ 26612–85). Резцы оснащены режущими пластинками из керамики ВОК-60, В-3, ВОК-71 (ГОСТ 25003–81). Режим обработки: глубина резания – 0,05...0,15 мм, скорость резания – 60...120 м/мин, подача – 0,03...0,15 мм/об. Достижимая точность размеров – 6-й квалитет, точность формы обработанной поверхности – 5...10 мкм, шероховатость –  $Ra0,4$ .

При применении методов абразивной обработки в единичном производстве используют универсальные внутришлифовальные станки или универсальные круглошлифовальные станки со шлифовальной бабкой для внутреннего шлифования (рис. 17.30).

В серийном производстве используют эти же станки-полуавтоматы или станки с ЧПУ.

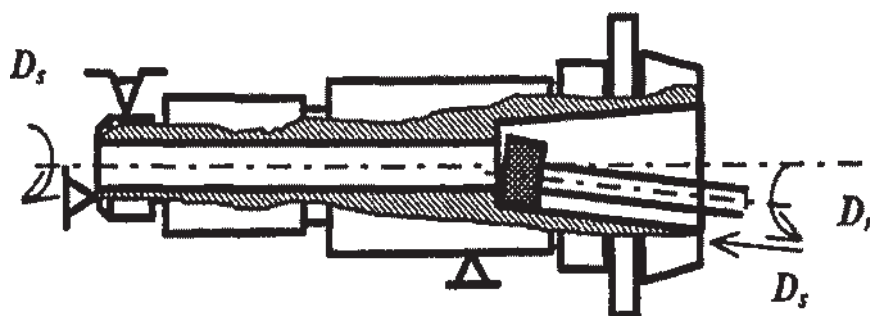


Рис. 17.30. Схема обработки внутренних конических поверхностей на шлифовальном станке с поворотом шлифовальной бабки

Обработку производят с поворотом шлифовальной бабки. На первых операциях чистовой обработки заготовку закрепляют в трёхкулачковом патроне и люнете. На последней операции — в жёстких опорах с базированием по опорным поверхностям под подшипники. В качестве опор используют люнеты (рис. 17.31). Люнеты 4 устанавливают на станине станка, добиваясь их соосного расположения с помощью специальной оправки, обрабатываемую заготовку 7 базируют цилиндрической и конической щётками в отверстиях биметаллических вкладышей 5 и 6. Отверстия вкладышей пригоняют по поверхностям заготовки с зазором 0,02 мм. Вращающий момент от шпинделя к заготовке передают гибким валиком 2, изготовленным из проволоки диаметром 4...6 мм, длиной 300 мм. Соединение со шпинделем происходит через планшайбу 1 и поводок 3, закрепляемый клеммовым зажимом на заднем конце заготовки шпинделя. Возможен и другой вариант передачи вращающего момента заготовке (рис. 17.32).

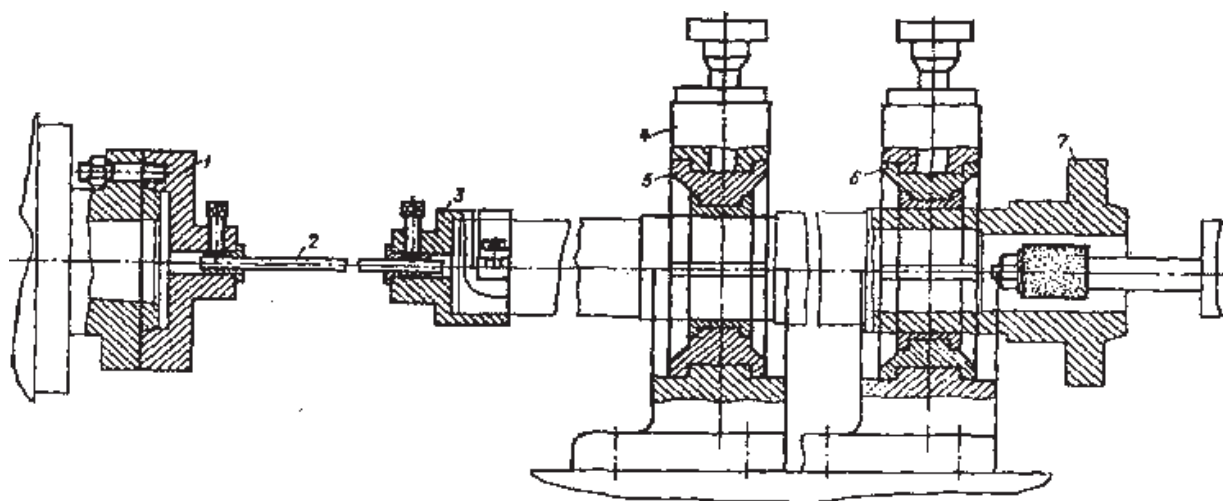


Рис. 17.31. Наладка шлифовального станка с двумя люнетами

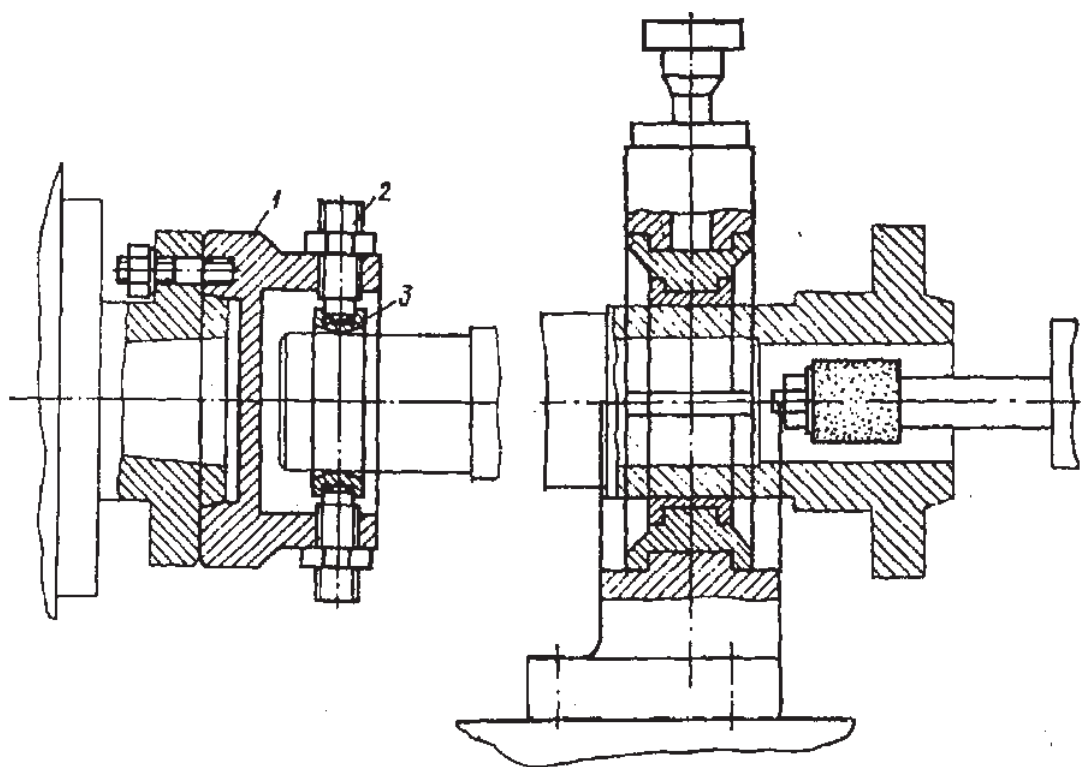


Рис. 17.32. Наладка шлифовального станка с одним люнетом

Задний конец заготовки базируют по узкому пояску кольца 3, сжимаемого четырьмя регулировочными винтами 2 планшайбы 1. При таком шарнирном соединении достаточно одного люнета.

В условиях серийного производства для базирования заготовки целесообразно применение специальных приспособлений (рис. 17.33).

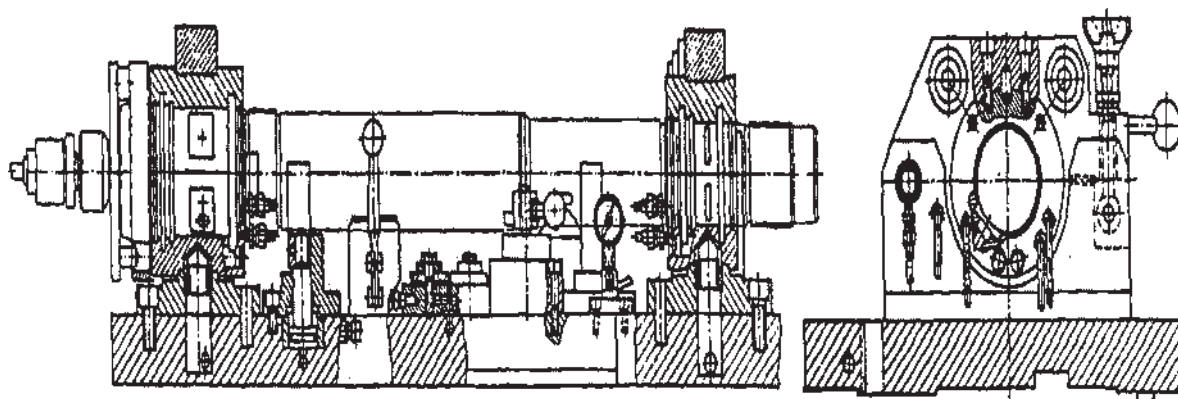


Рис. 17.33. Приспособление для базирования на жёстких опорах

Заготовку закрепляют поверхностями опорных шеек в двух опорах гидростатического люнета, установленного на столе круглошлифовального станка. Вращающий момент от шпинделя передаётся через гибкий поводок. Вкладыши специальных люнетов тщательно обрабатывают и при установке приспособления на столе станка выверяют.

Шлифование производят шлифовальными кругами на керамической связке (ГОСТ 2424–83) прямого профиля (тип ПП), применяют также круги с выточкой (форма ПВ), с конической выточкой (форма ПВК) или с двусторонней выточкой (форма ПВД). Форма круга выбирается в зависимости от формы обрабатываемой поверхности, диаметр круга выбирают равным 0,6...0,8 диаметра обрабатываемой поверхности.

Абразивный материал – электрокорунд нормальный 14А для предварительного шлифования и электрокорунд белый 22А, 23А или 24А для окончательного шлифования. Зернистость абразива – 16...40 (для обеспечения более высокого качества поверхности выбирают абразив меньшей зернистости). Степень твёрдости кругов: СМ1, СМ2. Номер структуры: 5...7.

Режим обработки: глубина резания – 0,01...0,05 мм, скорость резания – 20...35 м/с, круговая подача заготовки – 20...60 м/мин, продольная подача – (0,1...0,25)В мм/об заготовки, где В – ширина круга. Достижимая точность размеров – 6-й квалитет, точность формы обработанных поверхностей – 3...8 мкм, шероховатость –  $Ra0,2$ .

### **Отделочная обработка**

Отделочной обработке подвергают коническую посадочную поверхность под инструмент и технологическую оснастку прецизионных шпинделей. При отделочной обработке используют притирку и тонкое шлифование.

Притирка даёт возможность получения высокой точности геометрической формы обработанной поверхности (отклонение от круглости в пределах 0,4...0,5 мкм) и высокого качества поверхности ( $Rz0,025...Rz0,1$ ). Притирку производят на токарных станках при установке заготовки в люнетах вручную при помощи профильных притиров из серого чугуна СЧ 18, СЧ 21, СЧ 24. Чем выше твёрдость обрабатываемой поверхности, тем выше должна быть твёрдость чугунного притира.

При притирке применяют тонкие абразивные пасты на основе электрокорунда нормального 13А, электрокорунда белого 23А, электрокорунда хромистого 33А и 34А, карбида кремния зелёного 62С или карбида бора КБ зернистостью М28-М3, а также алмазные пасты зернистостью (28-20)...(5-3). Частота

вращения заготовки при доводке составляет 100...125 об/мин в начальный период и около 50 об/мин при окончательной доводке. Операция эта весьма трудоёмка и требует высокой квалификации рабочего.

Тонкое шлифование наружных поверхностей выполняют на круглошлифовальных станках особо высокой точности. Схемы обработки и технологическая оснастка при тонком шлифовании не отличаются от применяемых при чистовом шлифовании. Обработку производят, как правило, эльборовыми (марка ЛО) кругами прямого профиля (тип 1А1) на керамической или металлической связке (ГОСТ 17123–79). Зернистость кругов: (40-28)...(14-10). Твёрдость керамической связки: СМ1, СМ2. Режим обработки: глубина резания – 0,002...0,005 мм, скорость резания – 25...35 м/с; круговая подача заготовки – 20...30 м/мин, продольная подача – (0,25...0,4)В мм/об заготовки, где В – ширина круга. Достигаемая точность размеров – 5-й квалитет, точность формы – 1...2 мкм, шероховатость –  $Ra0,1$ .

#### 17.4.4. Обработка шлицевых поверхностей

##### **Черновая обработка шлицев**

Черновую обработку шлицевых поверхностей производят двумя основными методами: фрезерованием дисковыми фасонными фрезами на горизонтально-фрезерных станках с ручным управлением, оснащённых делительными механизмами, и фрезерованием червячными фрезами на шлицефрезерных или зубофрезерных станках. Наиболее простой является схема фрезерования дисковой профильной фрезой с последовательной обработкой каждой впадины зубьев (рис. 17.34).

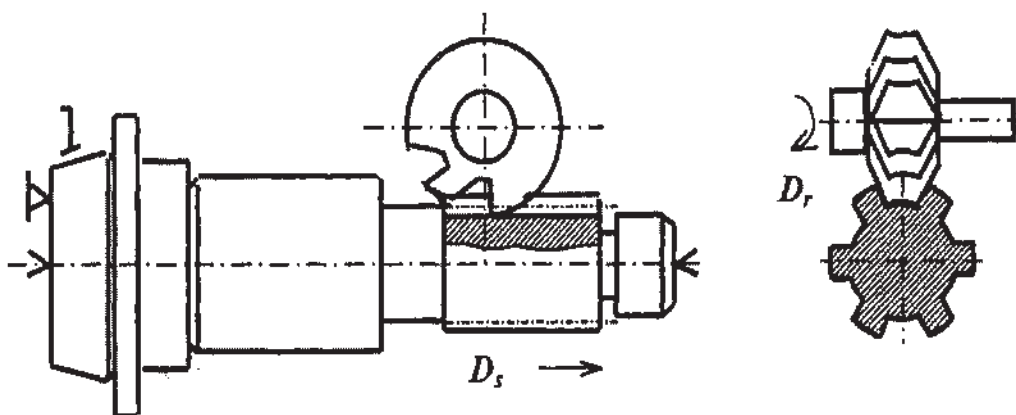


Рис. 17.34. Схема обработки шлицевой поверхности дисковой фрезой



Обработку производят цельными быстрорежущими фрезами или фрезами, оснащёнными пластинками твёрдого сплава. Каждый паз прорезается за один рабочий ход. Режим обработки: скорость резания – 25...35 м/мин, подача – 100...130 мм/мин.

Более производительной является обработка одновременно двух впадин между шлицами (рис. 17.35).

Обработку производят специальными фасонными дисковыми фрезами, оснащёнными твердосплавными пластинками. Режим обработки: скорость резания – 30...35 м/мин; подача – 100...130 мм/мин.

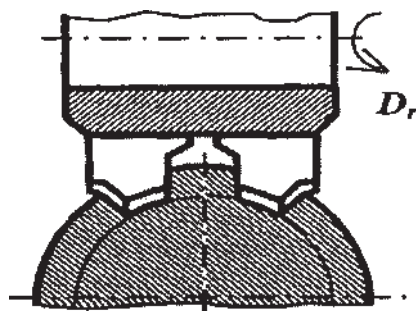


Рис. 17.35. Схема фрезерования шлицевой поверхности дисковой фрезой с одновременной обработкой двух впадин между шлицами

При необходимости обеспечения более высокой точности по толщине шлицев может быть выполнена ещё одна операция по обработке боковых поверхностей зубьев специальной торцевой фрезой, оснащённой пластинками твёрдого сплава T15K6 (рис. 17.36).

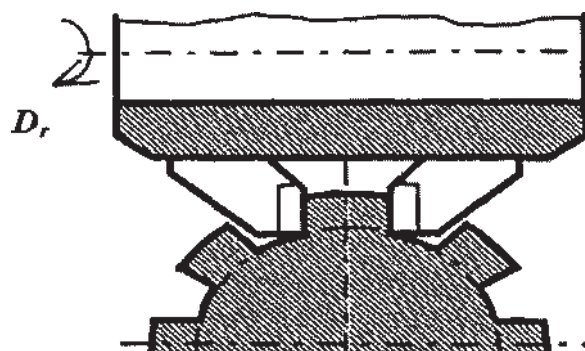


Рис. 17.36. Схема фрезерования боковых поверхностей шлицев специальной торцевой фрезой

Режим обработки: скорость резания – 150...180 м/мин; подача – 0,55 мм/зуб. Достижимая точность по толщине шлицев – 0,03...0,05 мм, шероховатость боковых поверхностей –  $Ra0,8...Ra1,6$ .

При обработке шлицевых поверхностей с центрированием по внутреннему диаметру шлицев (по поверхности впадин) требуется обработка канавок для выхода шлифовального круга. Их фрезеруют комплектом двух дисковых прорезных фрез (ГОСТ 2679–93) (рис. 17.37).

При фрезеровании шлицев заготовку базируют по центровым отверстиям или базовым фаскам в упорных центрах (ГОСТ 13214–79, ГОСТ 2575–79). Поворот заготовки при делении обеспечивается универсальными делительными головками (ГОСТ 8615–89).

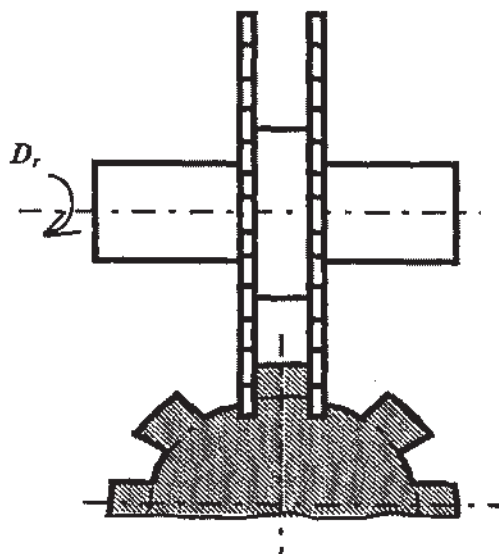


Рис. 17.37. Схема фрезерования канавок для выхода шлифовального круга

Недостатком всех методов, основанных на копировании и единичном делении, является невысокая точность по шагу шлицев, зависящая в основном от точности делительного механизма.

Наиболее точным методом обработки шлицевых поверхностей является фрезерование на специальных шлице- или зубофрезерных станках.

Фрезерование осуществляют червячными фрезами для шлицевых валов с прямобочным профилем (ГОСТ 8027–86, ОСТ 2И42-1-84, ТУ 2-035-419-75). Червячные фрезы изготавливают без усиков и с усиками. Фрезы без усиков используют при нарезании шлицевых поверхностей, центрируемых по наружному диаметру. Для нарезания шлицевых поверхностей с центрированием по внутреннему диаметру применяют червячные фрезы с усиками. Фрезы изготавливают из быстрорежущих сталей Р6М5, Р6М5К5, Р18.

При обработке на шлицефрезерных станках заготовку обычно устанавливают в горизонтальном положении (рис. 17.38), на зубофрезерных – в вертикальном.

Заготовку базируют по центровым отверстиям или базовым фаскам в упорных центрах (ГОСТ 13214–79, ГОСТ 2575–79). При обработке длинных заготовок используют люнет. Шлицевые поверхности диаметром до 30 мм фрезеруют за один рабочий ход, большего диаметра – за два.

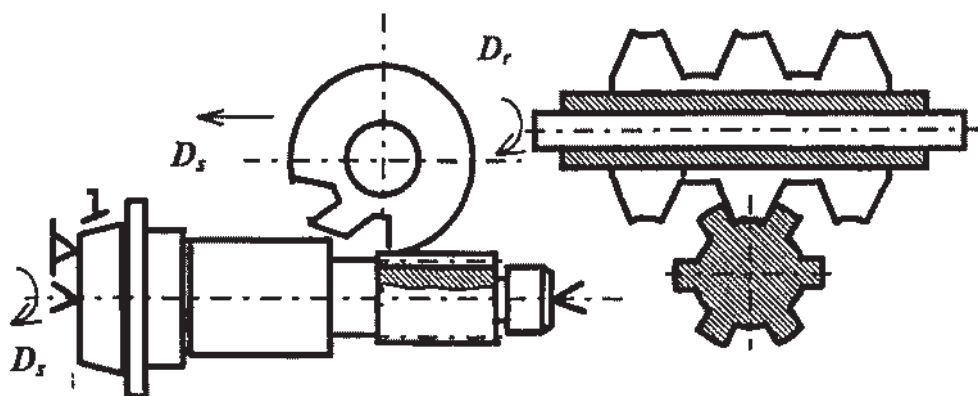


Рис. 17.38. Схема обработки шлицевой поверхности на шлицефрезерном станке

Режим обработки: скорость резания – 25...40 м/мин; продольная подача – 1...3 мм/об. Достижимая точность по толщине шлицев – 9-й квалитет, по внутреннему – 8-й квалитет, шероховатость –  $Ra1,6...Ra3,2$ .

### Чистовая обработка шлицев

Основным методом чистовой обработки шлицевых поверхностей валов является шлифование.

При центрировании шлицевых поверхностей по наружному диаметру шлифуют только наружную цилиндрическую поверхность на универсальных круглошлифовальных станках (рис. 17.39).

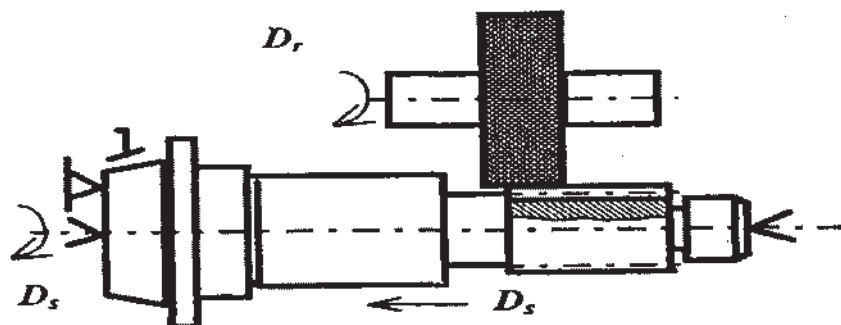


Рис. 17.39. Схема шлифования шлицевой поверхности по наружному диаметру

Шлифование производят кругами прямого профиля на керамической или бакелитовой связке (ГОСТ 2424-83). Абразивный материал – электрокорунд белый 22А и 24А. Зернистость абразива – 16...40 (для обеспечения более высокого качества поверхности выбирают абразив меньшей зернистости). Степень твёрдости кругов: СМ1, СМ2. Номер структуры: 3...4. Режим обработки: глубина резания – 0,01...0,05 мм; скорость резания – 30...35 м/с; круговая подача заготовки – 10...30 мм/мин; продольная подача – (0,1...0,25)В мм/об заготовки, где В – ширина круга. Достижимая точность размеров – 6-й квалитет, шероховатость –  $Ra0,4...Ra0,8$ .

При центрировании шлицевой поверхности по внутреннему диаметру шлифуют поверхность впадин между шлицами и боковые поверхности шлицев. Наиболее производителен способ шлифования фасонным кругом (рис. 17.40). Основной недостаток данного способа – неравномерный износ шлифовального круга вследствие неодинаковой толщины снимаемого слоя у боковых сторон и впадины вала, в связи с чем требуется частая правка круга.

Для уменьшения неравномерности износа круга шлифовать шлицы можно в две операции: в первой шлифуют только впадины между зубьями, а во второй – только боковые стороны шлицев (рис. 17.41).

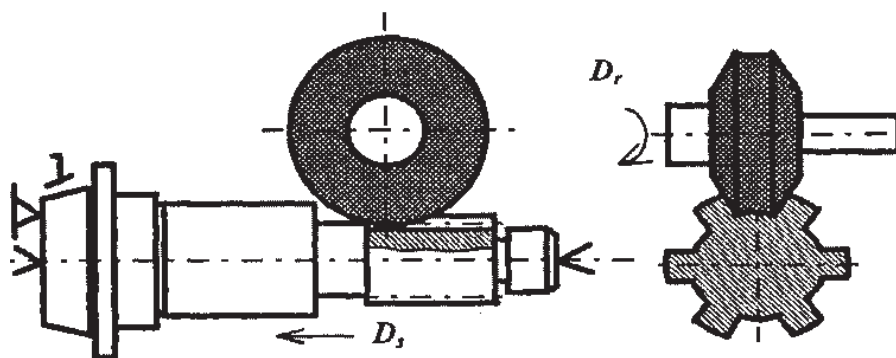


Рис. 17.40. Схема шлифования шлицевой поверхности фасонным кругом

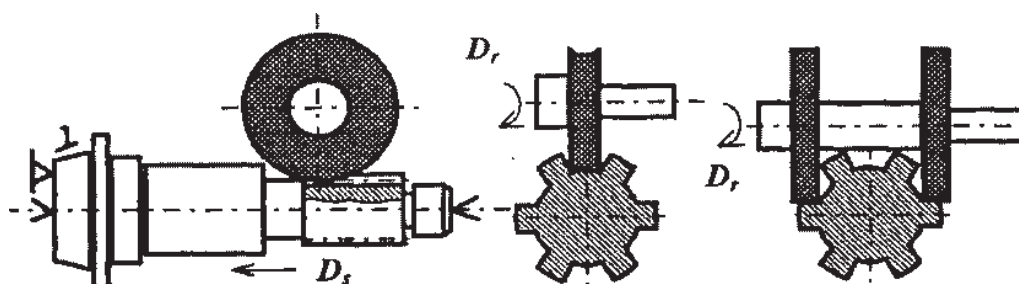


Рис. 17.41. Схема шлифования шлицевой поверхности в две операции

Для уменьшения износа круга после каждого двойного хода стола станка заготовку поворачивают и, таким образом, впадины обрабатываются постепенно, одна за другой. Недостатком данного способа является низкая производительность.

Для повышения производительности применяют инструментальные наладки с тремя шлифовальными кругами, один из которых шлифует впадину, а два других – боковые поверхности шлицев (рис. 17.42).

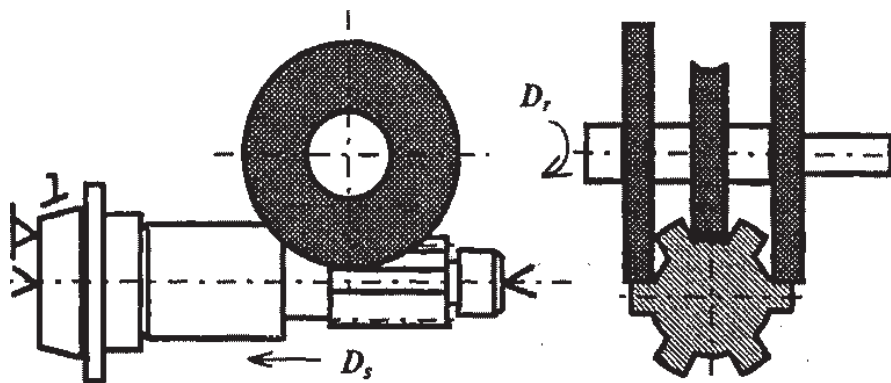


Рис. 17.42. Схема шлифования шлицевой поверхности комплектом шлифовальных кругов

Во всех описанных выше случаях шлифование производят на универсальных шлицешлифовальных станках. Заготовку базируют по центровым отверстиям или базовым фаскам в упорных центрах (ГОСТ 13214–79, ГОСТ 2575–79). Поворот заготовки в процессе обработки обеспечивают с помощью универсальных делительных головок (ГОСТ 8615–89). В серийном производстве применяют делительные устройства, обеспечивающие автоматический поворот заготовки после каждого двойного хода стола станка.

Шлифование производят кругами прямого профиля на керамической или бакелитовой связке (ГОСТ 2424–83). Абразивный материал – электрокорунд белый 22А и 24А. Зернистость абразива – 16...40 (для обеспечения более высокого качества поверхности выбирают абразив меньшей зернистости). Степень твердости кругов: СМ1, СМ2. Номер структуры: 5...7. Режим обработки: глубина резания – 0,015...0,025 мм; скорость резания – 30...35 м/с; продольная подача – 8...12 м/мин. Достижимая точность размеров – 6-й квалитет, шероховатость –  $Ra0,4...Ra0,8$ .

#### 17.4.5. Обработка шпоночных пазов

Шпоночные пазы для призматических шпонок обычно фрезеруют на шпоночно-фрезерных станках (рис. 17.43).

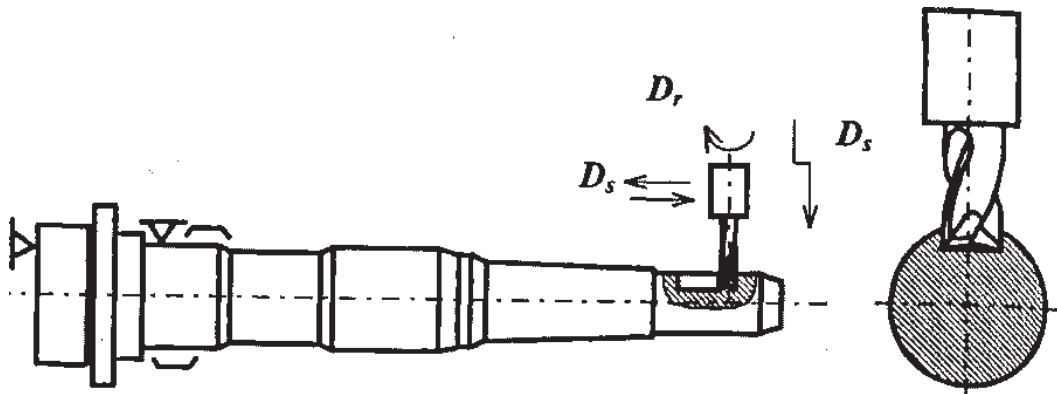


Рис. 17.43. Схема фрезерования шпоночного паза под призматическую шпонку на шпоночно-фрезерном станке

В этом случае обрабатываемая заготовка неподвижна, а шпиндель станка, кроме вращательного, совершает также возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки. После каждого маятникового хода шпинделя автоматически производится вертикальная подача на глубину 0,1...0,3 мм. Заготовку устанавливают по посадочным поверхностям под подшипники или в призмах, или в станочных винтовых самоцентрирующих рычажных тисках (ГОСТ 21167–75), или с призматическими губками (ГОСТ 21168–75), или в самоцентрирующих тисках с механизированным приводом (см. рис. 17.7).

Фрезерование производят фрезами шпоночными цельными из быстрорежущей стали Р6М5, Р12 и др. (ГОСТ 9140–78), шпоночными цельными твердосплавными (ГОСТ 16363–98) и шпоночными фрезами с напайными пластинками твердого сплава (ГОСТ 6396–78). Режим обработки: скорость резания – 20...35 м/мин для быстрорежущих фрез и 50...80 м/мин для твердосплавных; продольная подача – 150...300 м/мин. Точность по ширине паза в значительной степени определяется точностью фрезы. Для повышения точности применяют специальный патрон, в котором фреза устанавливается эксцентрично. Величина эксцентриситета должна обеспечить получение канавки заданной ширины фрезой меньшего диаметра. Шероховатость обработанной поверхности –  $Ra_{1,6}...Ra_{3,2}$ .

Фрезерование шпоночных пазов, открытых с одной стороны, производят на вертикально-фрезерных станках (рис. 17.44). Заготовку устанавливают так же, как и при обработке на шпоночно-фрезерном станке.

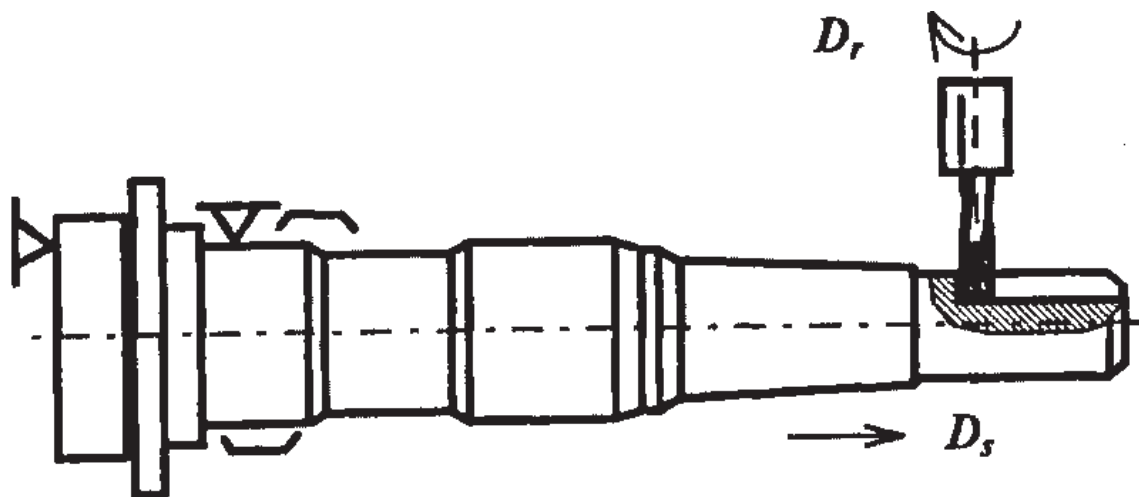


Рис. 17.44. Схема фрезерования шпоночного паза на вертикально-фрезерном станке

Фрезерование производят за один рабочий ход шпоночными фрезами, концевыми фрезами быстрорежущими (ГОСТ 17025–71) или твердосплавными (ГОСТ 18372–73). Режим обработки: скорость резания – 20...35 м/мин для быстрорежущих фрез и 50...80 м/мин для твердосплавных; продольная подача – 20...30 м/мин. Точность по ширине паза в значительной степени определяется точностью фрезы. Шероховатость обработанной поверхности –  $Ra_{1,6} \dots Ra_{3,2}$ .

Канавки под сегментные шпонки фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках (рис. 17.45). Заготовку устанавливают так же, как и при обработке на шпоночно-фрезерном станке.

Фрезерование производят за один рабочий ход с подачей на врезание фрезами из быстрорежущей стали для пазов сегментных шпонок (ОСТ 2И-41-5-84), дисковыми пазовыми (ГОСТ 3964–69) или прорезными (ГОСТ 2679–93). Режим обработки: скорость резания – 20...30 м/мин; подача – 15...25 м/мин. Точность по ширине паза в значительной степени определяется точностью фрезы. Шероховатость обработанной поверхности –  $Ra_{1,6} \dots Ra_{3,2}$ .



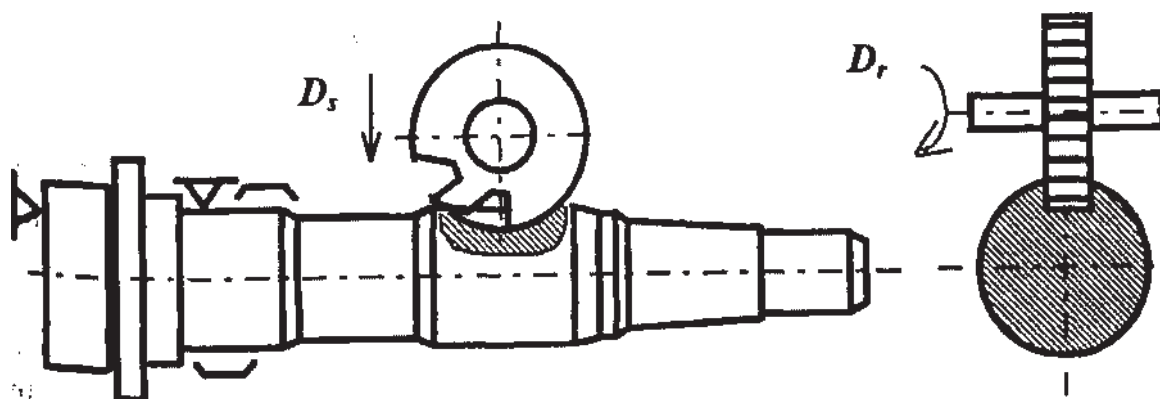


Рис. 17.45. Схема фрезерования паза под сегментную шпонку

#### 17.4.6. Обработка наружных резьбовых поверхностей

Наружные резьбовые поверхности шпинделей в большинстве случаев получают шлифованием по сплошному материалу на резьбошлифовальных станках.

Заготовку базируют по центровым отверстиям или базовым фаскам в упорных центрах (ГОСТ 13214–79, ГОСТ 2575–79).

Шлифование производят одноконтурными кругами двустороннего конического профиля (2П) на керамической, бакелитовой или вулканической связке (ГОСТ 2424–83) либо специальными многоконтурными кругами, профиль поперечного сечения которых соответствует профилю нарезаемой резьбы и переносится на обрабатываемую заготовку с некоторым искажением. Это вызвано тем, что нарезаемая резьба наклонена к оси заготовки на некоторый угол, определяемый диаметром и шагом резьбы, в то время как профиль шлифовального круга совершает перемещение в плоскости, перпендикулярной к оси обрабатываемой заготовки. Искажение профиля при нарезании резьбы с мелким шагом практически незначительно и поэтому не учитывается при профилировании кругов.

Шлифование резьбы производят одним из трёх способов:

- 1) одноконтурным шлифовальным кругом при вращении заготовки и осевой её подаче (рис. 17.46, а);
- 2) многоконтурным шлифовальным кругом, высота которого превышает длину нарезаемой резьбы, врезающимся в заготовку при продольном её перемещении на один шаг за один оборот (рис. 17.46, б);

3) многониточным шлифовальным кругом, высота которого меньше длины нарезаемой резьбы, при продольном перемещении с вращением обрабатываемой заготовки (рис. 17.46, в).

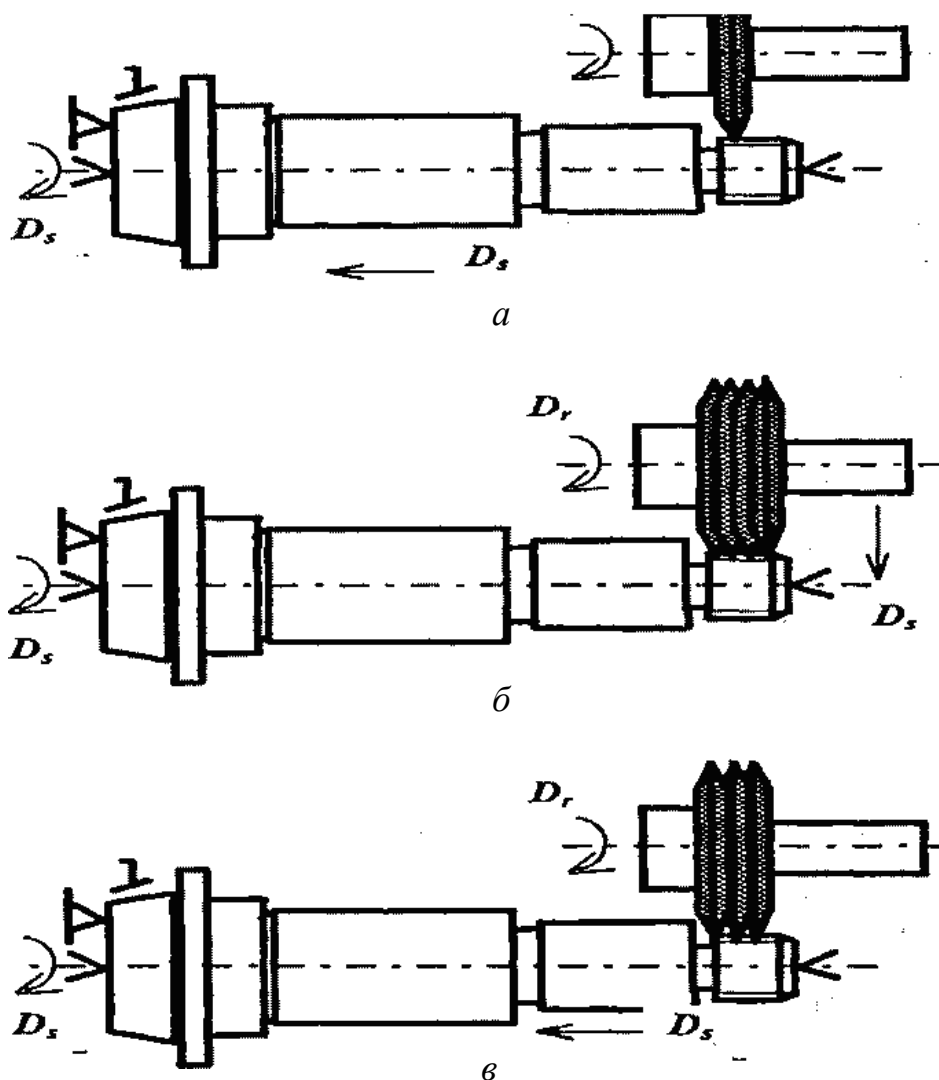


Рис. 17.46. Схемы шлифования резьбы

Обработка односточным шлифовальным кругом обеспечивает высокую точность. Однако из-за повышенной нагрузки на профиль он быстро теряет свою форму, в связи с чем этот способ следует применять при шлифовке резьбы мелких (до 0,75 мм) шагов, а также при окончательной шлифовке после многониточной предварительной обработки. Режим обработки: глубина резания – 0,15...0,55 мм; скорость резания для кругов на керамической связке – 30...35 м/с, на бакелитовой или вулканической связке – 42...55 м/с; круговая подача заготовки – 0,3...1,0 м/мин. Достижимая точность размеров – 7-й качество, шероховатость –  $Ra0,4...Ra0,8$ .

Резьбошлифование с подачей врезанием многониточным шлифовальным кругом осуществляют обычно за 2...4 оборота заготовки, поэтому скорость подачи врезания целесообразно устанавливать переменной: на первом обороте снимать до 50 % припуска, на втором обороте – до 40 %, а при окончательной обработке – 10...20 % припуска. Режим обработки: скорость резания для кругов на керамической связке – 30...35 м/с, на бакелитовой или вулканитовой связке – 42...55 м/с; круговая подача заготовки – 0,3...1,0 м/мин.

Многониточное резьбошлифование с продольной подачей осуществляют за один проход. Профиль круга при этом должен иметь заборный конус и калибрующую часть, что достигается правкой круга. Число ниток на заборной части должно быть таким, чтобы обеспечивать съём каждой ниткой не более 0,1 мм глубины слоя. В целях выравнивания нагрузки на каждую нитку заборного конуса целесообразно менять высоту и угол профиля каждой нитки так, чтобы длина основания профиля нитки и площадь сечения срезаемого каждой ниткой слоя оставались постоянными. Режим обработки: скорость резания для кругов на керамической связке – 30...35 м/с, на бакелитовой или вулканитовой связке – 42...55 м/с; круговая подача заготовки — 0,6...1,5 м/мин.

Абразивный материал резьбошлифовальных кругов — электрокорунд белый 23А или 24А. Зернистость абразива: 4...10 (для обеспечения более высокого качества поверхности выбирают абразив меньшей зернистости). Степень твёрдости кругов – СМ1, СМ2, С1, С2. Номер структуры – 8...12.

#### 17.4.7. Обработка внецентровых отверстий

Внецентровые отверстия шпинделя (крепёжные отверстия на фланце или переднем торце, радиальные отверстия и т. п.) в единичном и мелкосерийном производстве обрабатывают на радиально-сверлильных станках и вертикально-сверлильных станках с ЧПУ. Точность расположения отверстий при использовании радиально-сверлильных станков обеспечивается применением накладных кондукторов.

При обработке крепёжных отверстий заготовку устанавливают в станочных винтовых самоцентрирующих рычажных тисках (ГОСТ 21167–75) или с призма-

тическими губками (ГОСТ 21168–75), либо в самоцентрирующих тисках с механизированным приводом (см. рис. 17.7) в вертикальном положении (рис. 17.47).

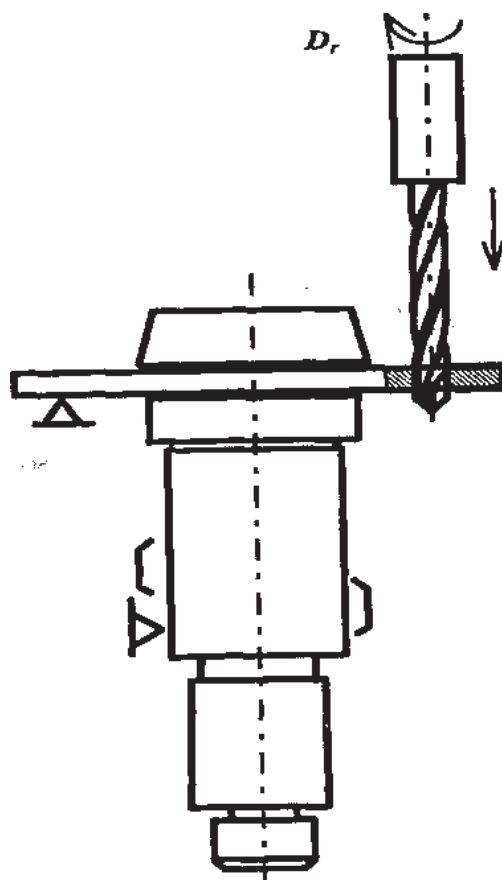


Рис. 17.47. Схема обработки внецентровых отверстий

Обработку гладких отверстий производят свёрлами спиральными с коническим хвостовиком (ГОСТ 10903–77); при необходимости применяют свёрла удлинённые (ГОСТ 2092–77) или свёрла длинные (ГОСТ 12121–77). Режим обработки: скорость резания – 25...30 м/мин; подача – 0,2...0,4 мм/об.

Ступенчатые отверстия обрабатывают в два перехода или в две операции. Сначала обрабатывают сквозное отверстие, а затем – обнижение зенковкой цилиндрической (ГОСТ 25726–83). Режим обработки при зенковании: скорость резания – 15...25 м/мин, подача – 0,3...0,6 мм/об. Ступенчатые отверстия обрабатывают также за один рабочий ход специальными ступенчатыми свёрлами.

Точные отверстия зенкеруют зенкерами цельными (ГОСТ 12489–71), а затем развертывают развёртками машинными цельными (ГОСТ 1672–80) из быстрорежущей стали. Режим обработки при зенкеровании: глубина резания – 0,1...0,3 мм, скорость резания – 15...25 м/мин, подача – 0,7...1,1 мм/об; режим

обработки при развёртывании: глубина резания – 0,1...0,3 мм, скорость резания – 4...10 м/мин, подача – 0,5...1,4 мм/об.

Свёрла, зенкеры, зенковки и развёртки изготавливают из быстрорежущей стали Р6М5, Р9 и др.

В серийном производстве обрабатывают одновременно все крепёжные отверстия на агрегатных станках при горизонтальном закреплении заготовки (рис. 17.48). При работе на агрегатных станках в основном используют те же инструменты и режимы обработки, что и на радиально-сверлильных станках.

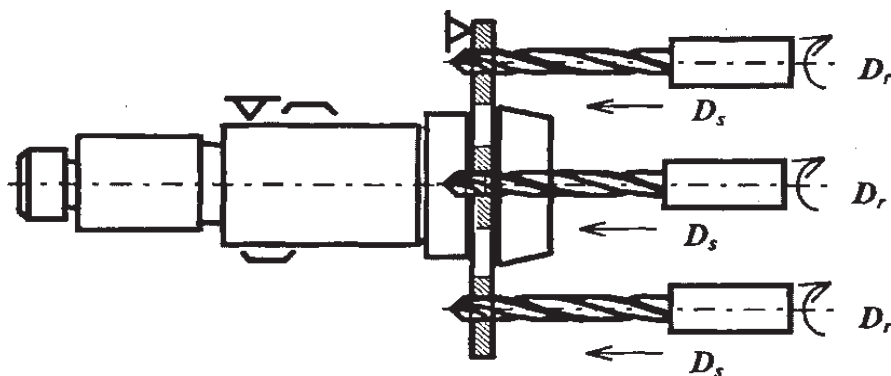


Рис. 17.48. Схема обработки внецентровых отверстий на агрегатном станке

Радиальные отверстия валов в единичном и мелкосерийном производстве обрабатывают на радиально-сверлильных станках (рис. 17.49).

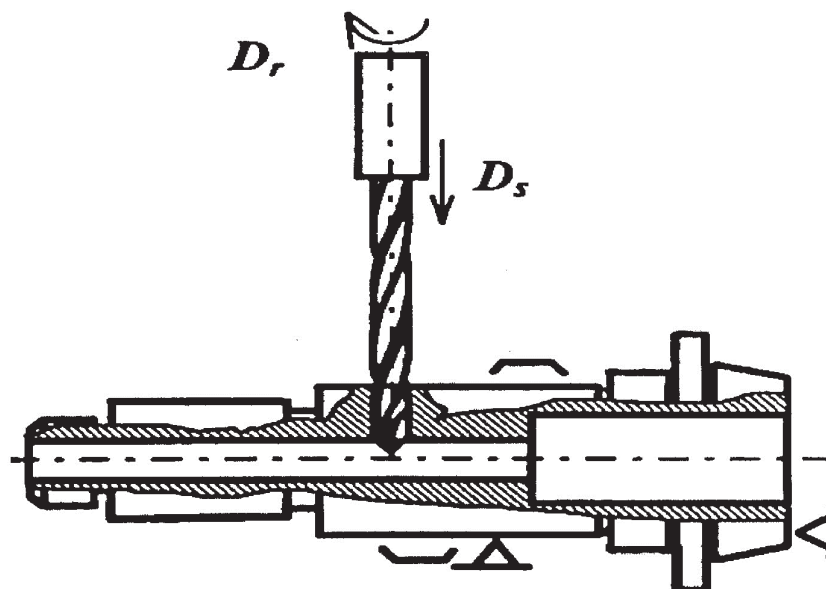


Рис. 17.49. Схема обработки радиальных отверстий

Точность расположения отверстий обеспечивается обработкой по разметке или с помощью накладных кондукторов.

Обработку производят свёрлами спиральными с коническим хвостовиком (ГОСТ 10903–77); при необходимости применяют свёрла удлинённые (ГОСТ 2092–77) или свёрла длинные (ГОСТ 12121–77). Режим обработки: скорость резания – 25...30 м/мин; подача – 0,2...0,4 мм/об.

## 17.5. КОНТРОЛЬ ПРЕЦИЗИОННЫХ ВАЛОВ

Прецизионные валы подвергаются многократному контролю как в процессе производства, так и после изготовления. Проверяется точность размеров, точность формы и расположения поверхностей, качество поверхностей.

### 17.5.1. Контроль размеров

#### Универсальные средства контроля

Контроль размеров наружных и внутренних поверхностей деталей в условиях единичного производства выполняют универсальными измерительными средствами (табл. 17.1).

Таблица 17.1

#### Универсальные измерительные средства

для контроля размеров наружных и внутренних поверхностей

Тип, модель	Пределы измерений, мм	Цена деления, мм	Погрешность, мкм
Микрометр ручной, тип МК (ГОСТ 6507–90)	25...50; 50...75; 75...100; 100...125; 125...150; 150...175; 175...200	0,01	± 5
Микрометр рычажный со встроенным отсечным устройством, тип МР (ГОСТ 4381–87)	25...50; 50...75; 75...100	0,002	± 1
Микрометр рычажный со съёмными измерительными головками, тип МРИ (ГОСТ 4381–87)	100...125; 125...150; 150...175; 175...200	0,002	± (5...7)
Скоба рычажная со встроенным отсечным устройством, тип СР (ГОСТ 11098–75)	25...50; 50...75; 75...100; 100...125; 125...150	0,01	± 1
Скоба рычажная со съёмными измерительными головками, тип СИ (ГОСТ 11098–75)	0...50; 50...100; 100...200	0,01	± 12
Нутромер микрометрический, тип НМ (ГОСТ 10–88)	50...75	0,01	± 6
	75...175	0,01	± 8

Тип, модель	Пределы измерений, мм	Цена деления, мм	Погрешность, мкм
Нутромер индикаторный, тип НИ (ГОСТ 10–88)	18...50	0,01	± 15
	50...100; 100...160	0,01	± 20
Нутромер индикаторный повышенной точности, модель 154, 155, 156 (ГОСТ 9244–75)	50...100; 100...160; 160...260	0,001	± 6

В серийном производстве при контроле размеров наружных и внутренних поверхностей, выполненных по 6...9-му качеству, используют предельные калибры: калибр скобы и калибр пробки соответственно.

Размеры поверхностей, обработанных с меньшей точностью, контролируют универсальными измерительными средствами.

### **Управляющий контроль**

Наиболее эффективным и современным методом контроля является использование систем управляющего контроля [15], которые не только производят измерение размерных параметров обрабатываемой заготовки, но и по результатам контроля управляют технологическим процессом изготовления деталей.

Управляющий прибор БВ-4100 (разработчик – НИИ измерений, г. Москва) предназначен для управления процессом обработки валов на центровых и патронных универсальных автоматических круглошлифовальных станках. Прибор выпускается серийно Челябинским заводом измерительных приборов. Параметры и характеристики прибора соответствуют ГОСТ 8517–90. Комплектация прибора в различном сочетании с типовыми структурными единицами обеспечивает его широкие функциональные возможности для условий мелкосерийного, серийного и массового производства. Этот прибор с настольной скобой (рис. 17.50) обеспечивает автоматическую установку измерительных наконечников на обрабатываемую поверхность детали. Другим вариантом данного прибора является использование накладной скобы (рис. 17.51), когда подвод измерительной оснастки осуществляется вручную.



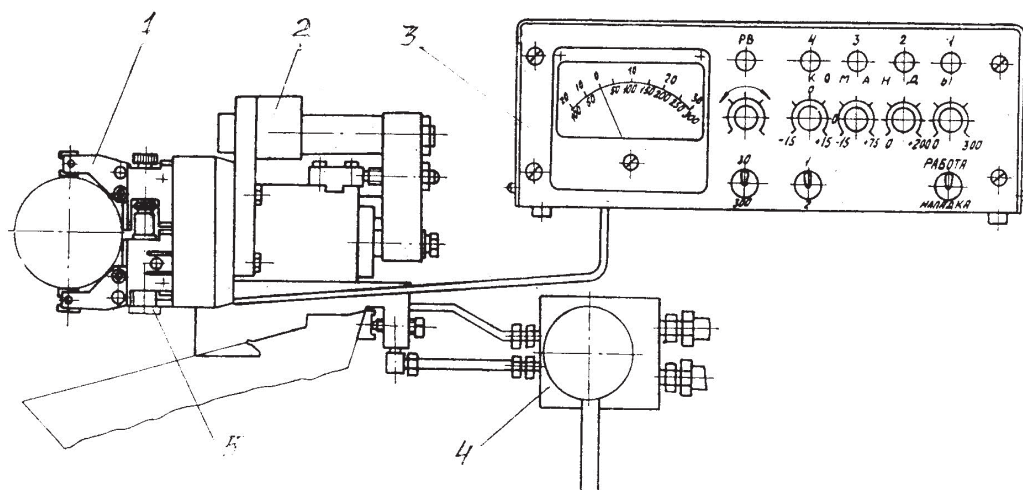


Рис. 17.50. Управляющий прибор БВ-4100 с настольной скобой:  
 1 – скоба индуктивная настольная; 2 – устройство подводящее; 3 – устройство отсчетно-командное электронное; 4 – кран управления; 5 – индуктивный преобразователь

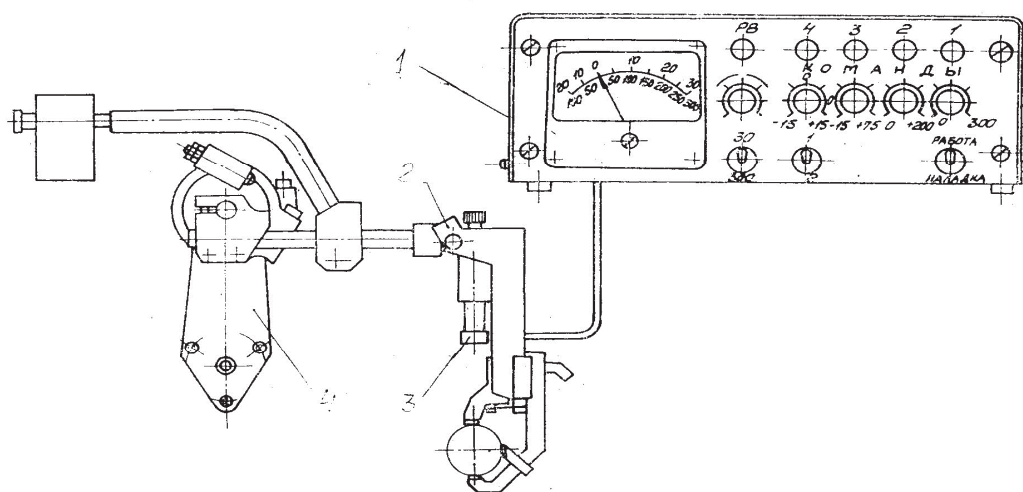


Рис. 17.51. Управляющий прибор БВ-4100 с накидной скобой:  
 1 – устройство отсчетно-командное электронное; 2 – скоба индуктивная навесная;  
 3 – индуктивный преобразователь; 4 – крепежная оснастка

Контроль в процессе обработки диаметральных размеров методами врезания или продольной подачи обеспечивается с точностью 0,001 мм для диаметров до 200 мм.

Расширить диапазон контролируемых диаметров позволяет использование раздвижных скоб (рис. 17.52) в приборе ЛАК-11-УПИ (разработчик – кафедра «Технология машиностроения» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина).

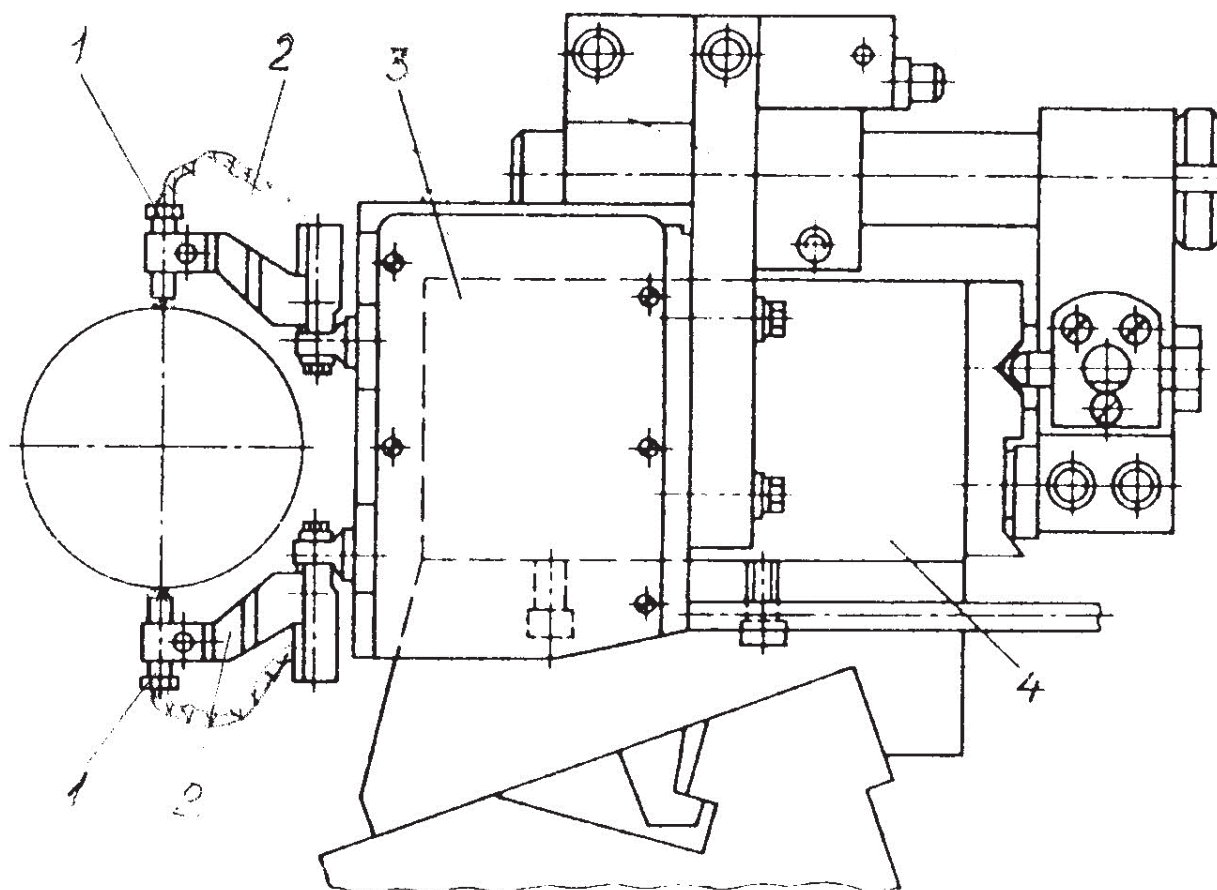


Рис. 17.52. Схема установки прибора ЛАК-11-УПИ

Перемещающиеся скобы 2 могут разводиться по направляющим, установленным на корпусе 3 прибора. Автоматизация привода подвода скобы к заготовке, ее стабильная ориентация и возврат в исходное положение обеспечиваются гидравлическим цилиндром 4. В качестве первичного преобразователя используются датчики 1 виброконтального принципа измерения (патент на изобретение № 2270415).

Дальнейшее расширение возможностей увеличения или уменьшения контролируемых диаметров нашло свое воплощение в приборе ЛАК-12-УПИ (патент № 59236 на изобретение) виброконтального принципа измерения (рис. 17.53) [17]. Такие приборы устанавливаются как на токарных, так и на шлифовальных станках различных моделей.

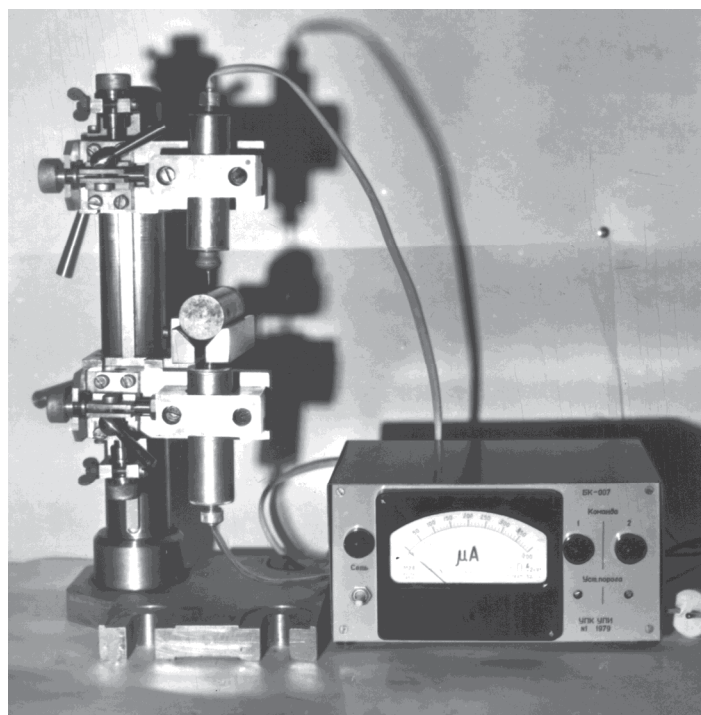


Рис. 17.53. Прибор управляющего контроля ЛАК-12-УПИ

На рис. 17.54 показан прибор управляющего контроля ЛАК-14-УПИ (патент на изобретение № 228466), установленный на бесцентровошлифовальном станке «Сасл 125» фирмы «Микроза» (Германия) и контролирующий наружный диаметр детали.

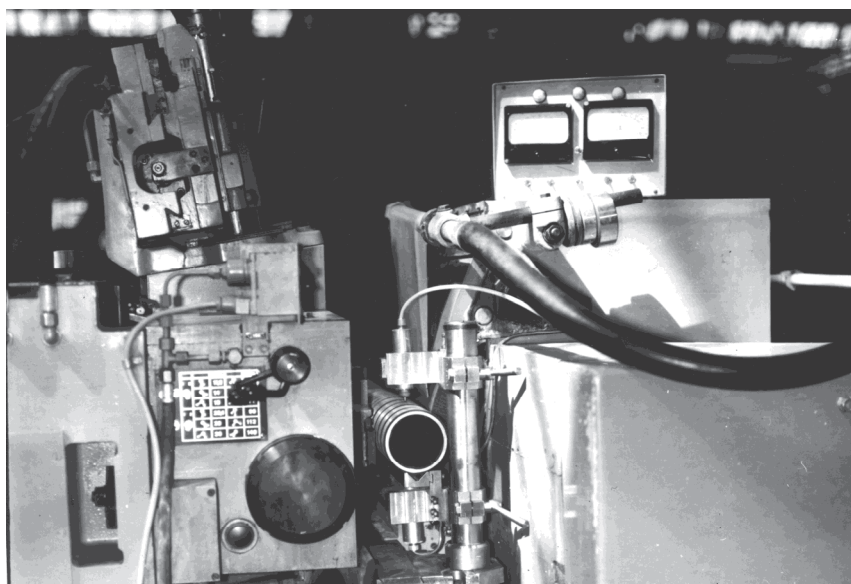


Рис. 17.54. Прибор управляющего контроля ЛАК-14-УПИ на станке «Сасл 125» фирмы «Микроза»

Подобные приборы разработаны в различных промышленно развитых странах мира. Например, широко используются управляющие приборы всемирно известной фирмы Marposs (Италия). На любых типах шлифовальных

станков, предназначенных для шлифования наружных диаметров, применяется прибор «Micromar» (рис. 17.55) с настольной установкой измерительной оснастки, когда измерительная головка подводится к обрабатываемой детали автоматически с помощью гидравлически управляемой тележки.

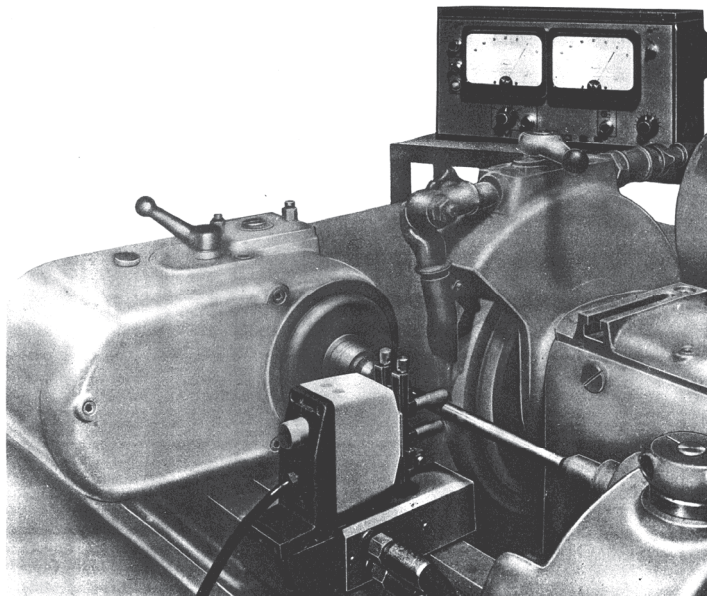


Рис. 17.55. Прибор контроля сплошных наружных диаметров «Micromar»

Диапазон контролируемых диаметров 6...120 мм. Точность измерения – 0,001 мм (рис. 17.56).

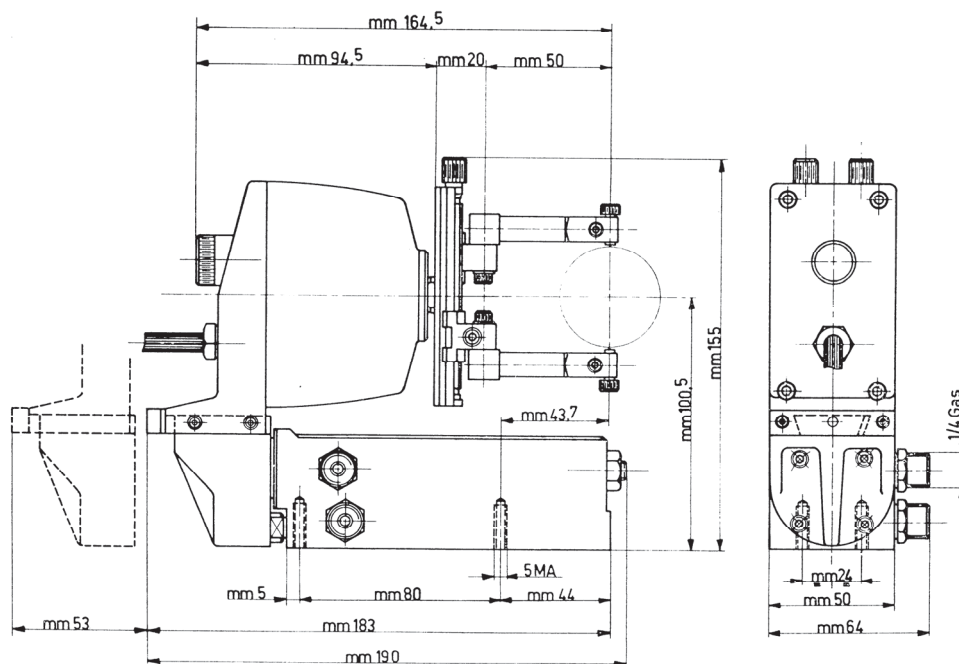
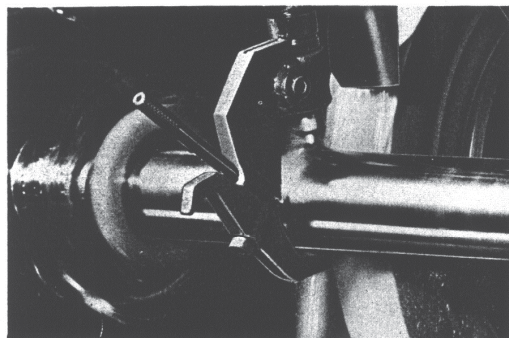


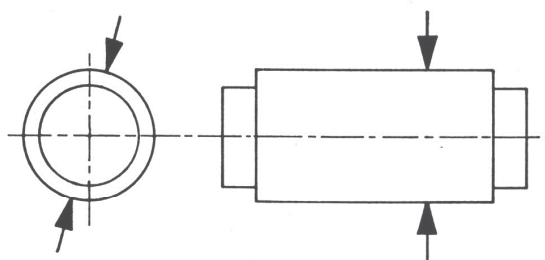
Рис. 17.56. Схема прибора «Micromar»



С накидной измерительной скобой используется прибор «Fenar» (рис. 17.57), когда подвод измерительной головки к обрабатываемой детали осуществляется вручную (рис. 17.58). Диапазон контролируемых диаметров – 3...350 мм, точность измерений – 0,001 мм.



В 101 - Л 4



**FENAR**

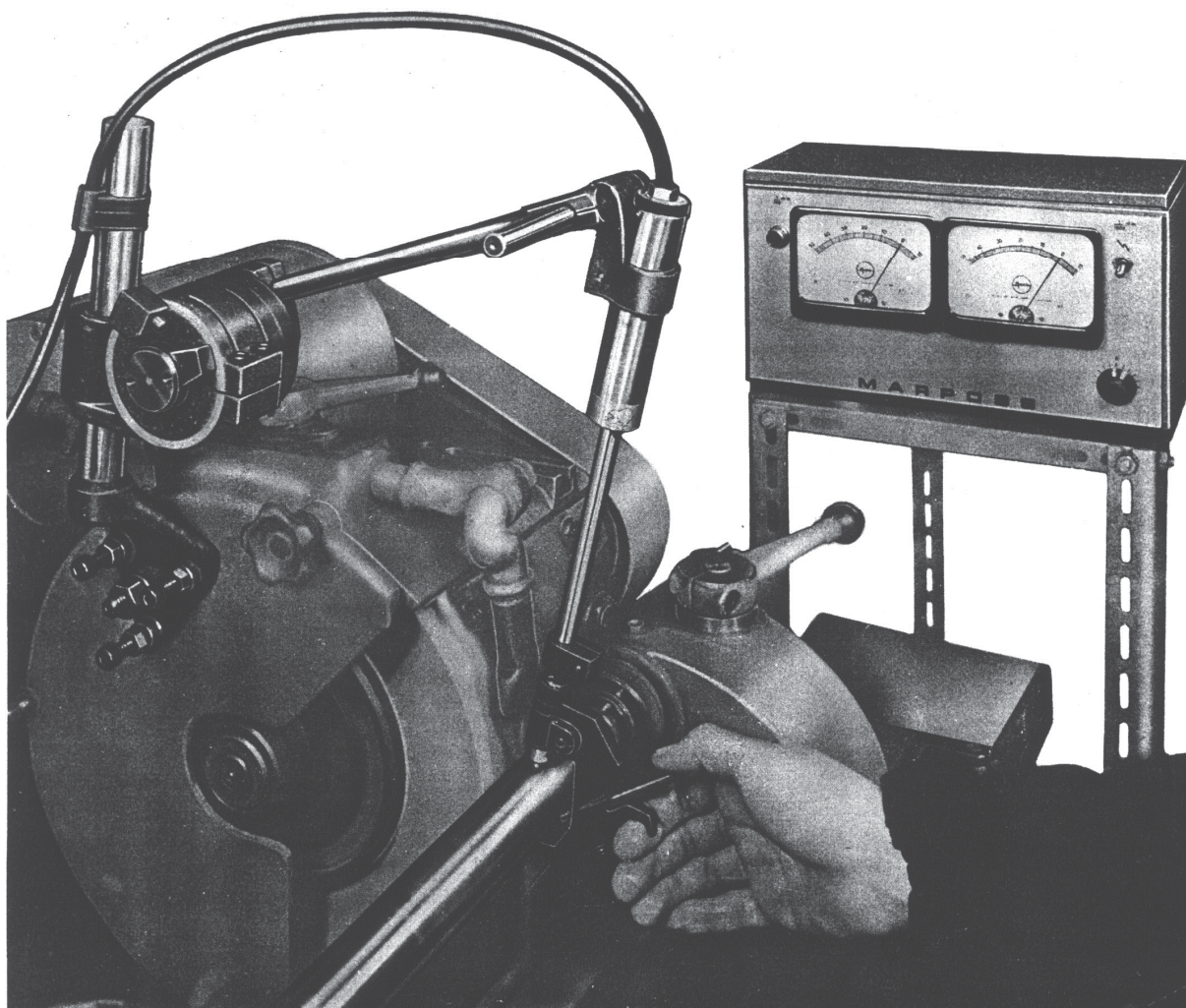


Рис. 17.57. Прибор для контроля сплошных наружных диаметров «Fenar»

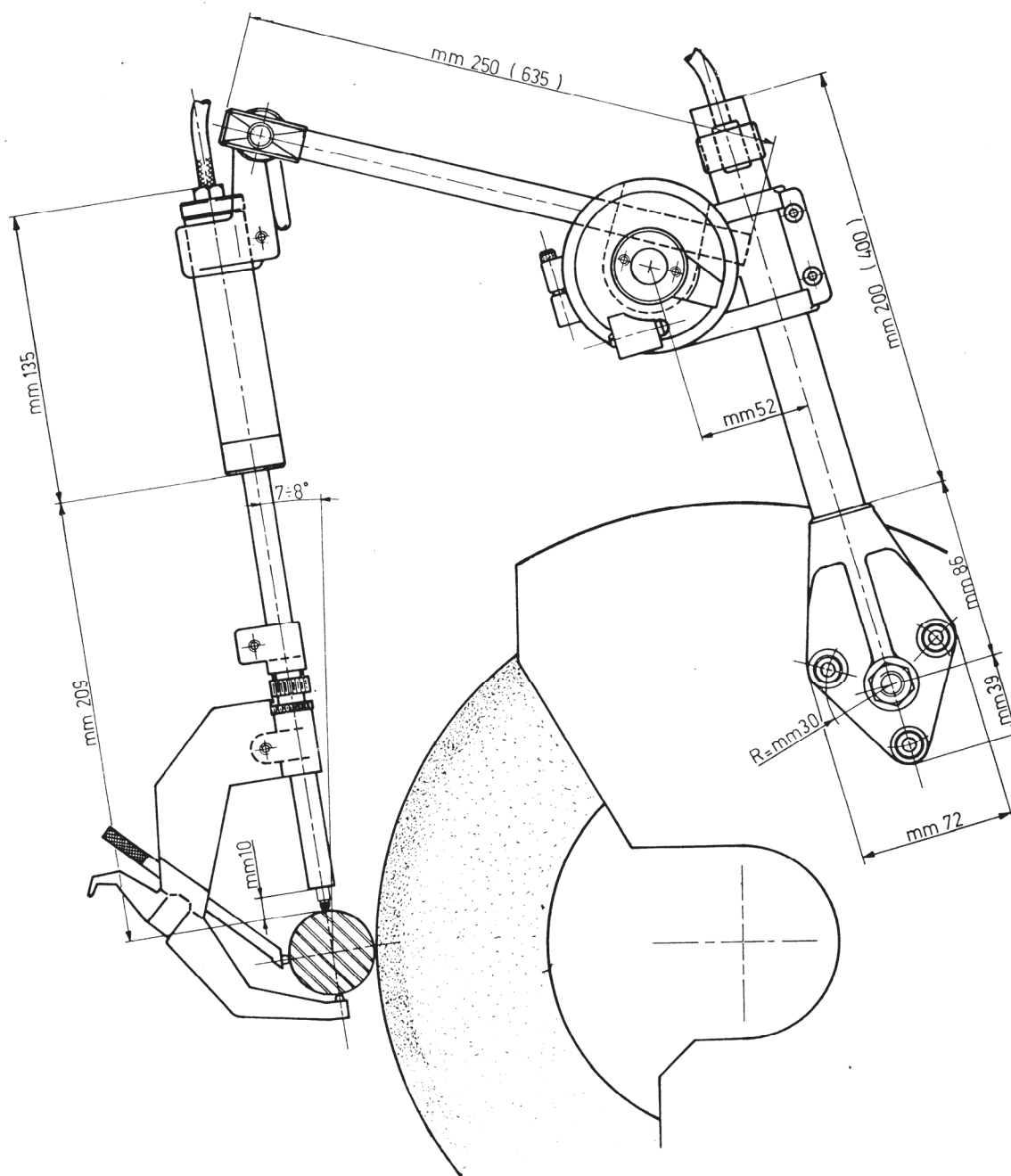
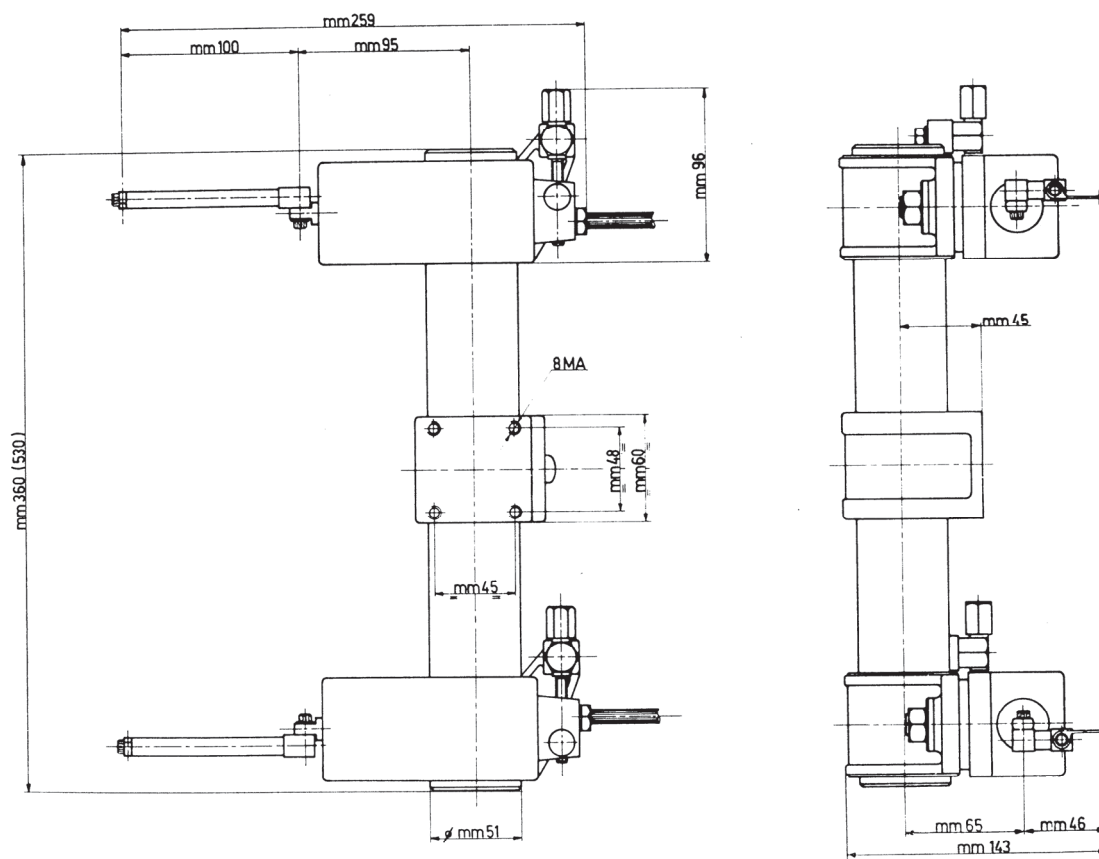


Рис. 17.58. Схема прибора «Fenar»

Широко используются приборы с двумя датчиками. Например, устройство управляющего контроля «Mascovar» (рис. 17.59), диапазон контролируемых диаметров – 50...500 мм, точность измерений – 0,001 мм, устанавливается на шлифовальных и токарных станках (рис. 17.60) для контроля больших диаметров со сплошной и прерывистой поверхностью.



*a*



*б*

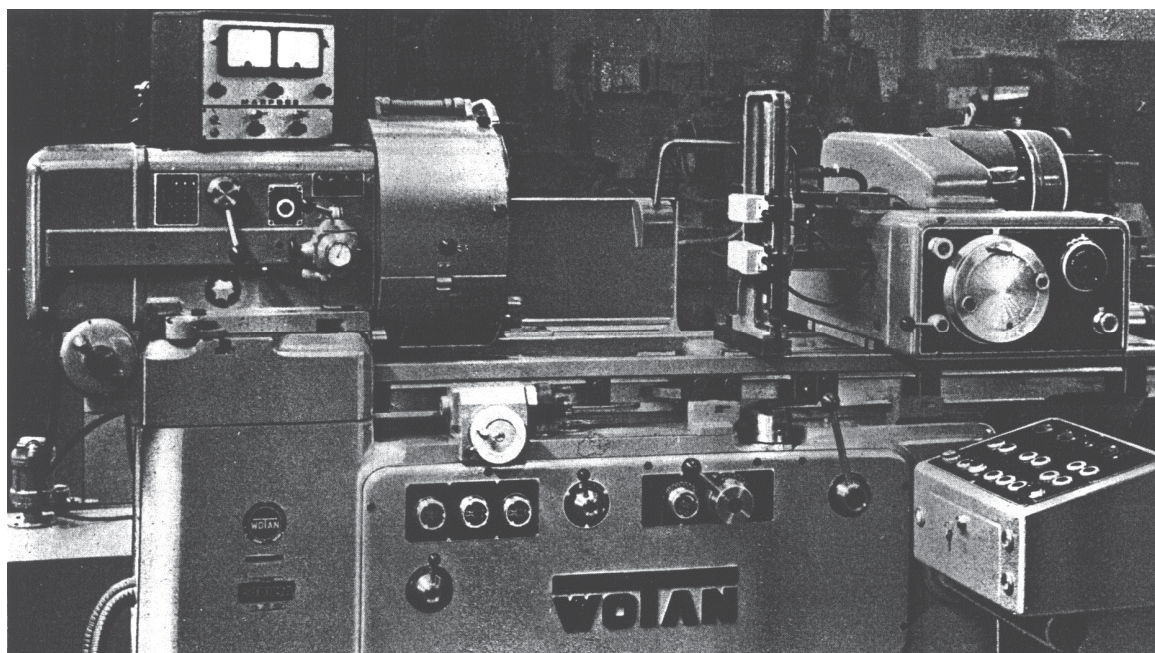


Рис. 17.59. Использование прибора с двумя датчиками: *a* – схема прибора; *б* – прибор на круглошлифовальном станке



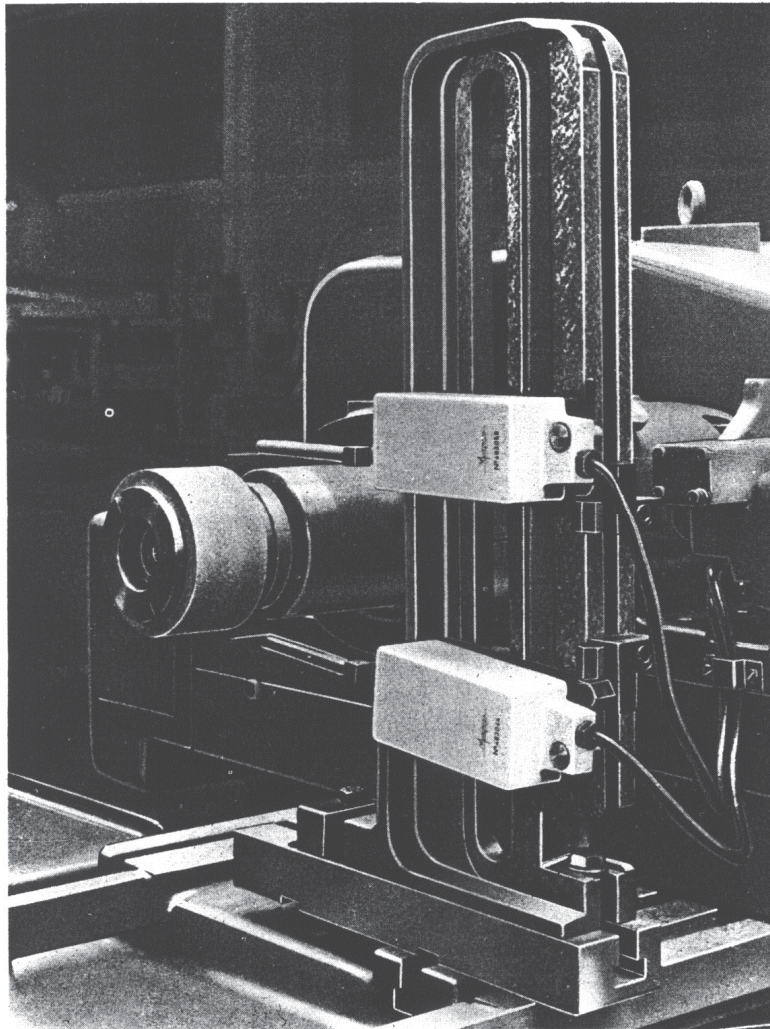


Рис. 17.60. Прибор «Macrovar» на станках

Прибор имеет две измерительные головки, поэтому изменение внешних воздействий как со стороны окружающей среды, так и со стороны станка оказывает ничтожное влияние на точность обработки.

Существуют приборы для контроля больших диаметров косвенным методом измерения обкатным мерным роликом. Преимущества данного метода: измерительная оснастка обкатного прибора имеет небольшие габаритные размеры и легко устанавливается на станках, с её помощью возможно измерение диаметров в любой стадии обработки, при этом результат измерения выдаётся в цифровой форме. Примером подобного устройства является прибор БВ-4273 (НИИ измерений, г. Москва) (рис. 17.61), который состоит из измерительного 1 и установочного 2 устройств, датчика (счётчика) оборотов деталей и микропроцессорного блока 3.

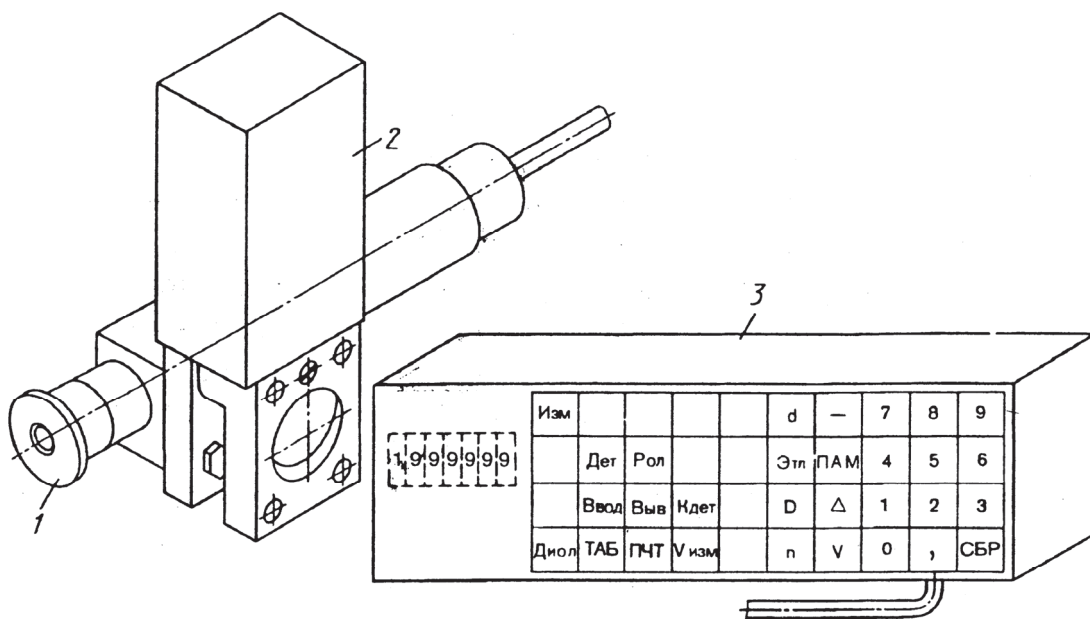


Рис. 17.61. Прибор БВ-4273

Схема прибора с фиксированной установкой контактного устройства показана на рис 17.62. К поверхности измеряемого вала 9 прижимается с усилием 50...60 Н контактное устройство (ролик) 8. Ось последнего жестко связана с осью фотоэлектрического преобразователя.

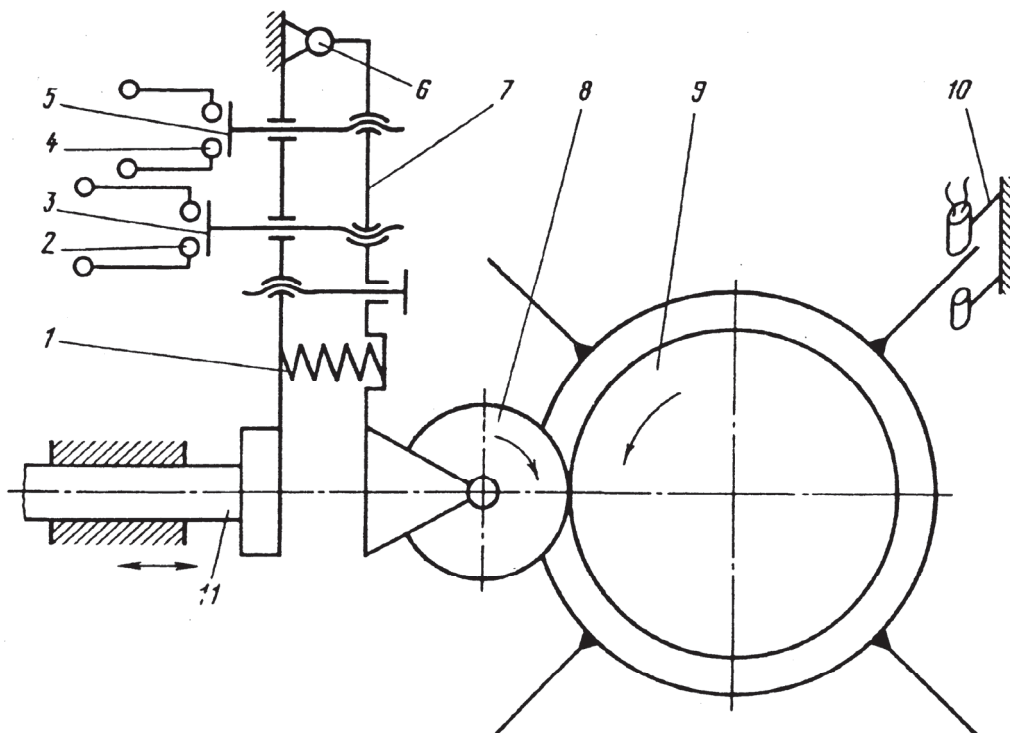


Рис. 17.62. Схема прибора с фиксированной установкой контактного устройства

При вращении ролика и преобразователя в микропроцессорный блок поступают импульсы. В схеме блока осуществляется счёт импульсов, и результат измерения диаметра показывается на цифровом индикаторе. Начало измерения, счёт числа оборотов детали и конец счёта импульсов выполняются по командам бесконтактного фотоэлектрического датчика 10. Ролик 8 установлен на планке 7, которая может качаться на оси 6. Прижим ролика 8 осуществляется при его подводе механизмом 11 станка. Заданное усилие прижима обеспечивается сжатием пружины 1 до момента замыкания путевого выключателя 4 винтом 5. По команде выключателя 4 подводящий механизм 11 останавливается. Если выключатель 4 не срабатывает, то подводящий механизм 11 останавливается при замыкании выключателя 2 винтом 3. Микропроцессорный блок, установленный на приборе, позволяет кроме измерения диаметра детали дополнительно проводить статические вычисления и определять параметры процесса обработки.

#### 17.5.2. Контроль точности формы

##### **Универсальные средства контроля**

На начальных операциях технологических процессов изготовления деталей контроль отклонений от круглости и цилиндричности производят универсальными измерительными средствами (см. табл. 17.1) путем замера диаметров в различных сечениях проверяемой поверхности. Такой контроль не дает истинного представления о геометрической форме, однако позволяет с точностью до 5...10 мкм оценить величину погрешности.

На завершающих этапах изготовления деталей отклонения от круглости и цилиндричности наружных и внутренних поверхностей контролируют с помощью кругломеров (ГОСТ 17353–89). Точность контроля может достигать 0,2 мкм.

В случае отсутствия таких приборов возможно применение простейших измерительных приспособлений с использованием стандартных измерительных головок (рис. 17.63).

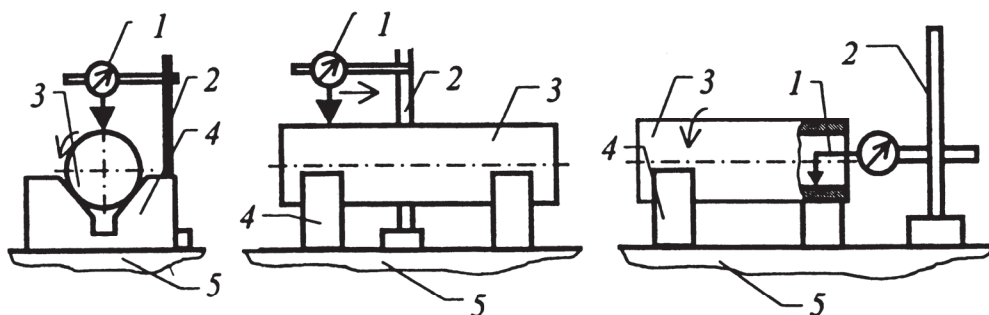


Рис. 17.63. Схемы приспособлений для контроля отклонений от круглости и профиля продольного сечения

Деталь 3 при контроле базируется на призмах 4 (ТУ2-034-812-88, ТУ2-034-439-88), установленных по поверочной плите 5 (ГОСТ 10905–86), стойка 2 с измерительной головкой 1 подводится к контролируемой поверхности, деталь 3 проворачивается вручную. Обычно для повышения точности и достоверности выполняются до пяти замеров в нескольких разных сечениях.

Характеристики применяемых измерительных головок, стоек и штативов приведены в табл. 17.2 и 17.3.

Таблица 17.2

#### Характеристики измерительных головок

Тип и модель головки	Цена деления, мкм	Пределы по- казаний, мм	Допустимая погрешность, мкм	
			всей шкалы	нормированного участка
Головки измерительные пружинные (микрометры) по ГОСТ 28798–90				
02ИГПВ	02	± 0006	0,2	0,15
05ИГПВ	0,5	± 0,015	0,4	0,25
1ИГПВГ	1,0	± 0,030	0,6	0,4
Головки измерительные пружинные малогабаритные (микрометры) по ГОСТ 28798–90				
05ИПМ 05ИПМУ	0,5	± 0,025	0,5	0,3
1ИПМ 1ИПМУ	1,0	± 0,050	1,0	0,5
Головки измерительные рычажно-зубчатые по ГОСТ 18833–73				
1ИГ	1,0	± 0,05	0,7	0,4
2ИГ	2,0	± 0,1	1,2	0,8
Индикаторы малогабаритные по ГОСТ 18833–73				
1МИГ	1,0	0...1	2,5	2,0
2МИГ	2,0	0...2	5,0	3,0
05205	5,0	0...5	5,0	4,0

Таблица 17.3

Характеристики стоек и штативов для измерительных головок  
(по ГОСТ 10197–70)

Тип	Цена деления измерительной головки, мкм	Пределы измерения по высоте, мм
С-I	0,1...0,5	0...160
С-II	1...5	0...160
С-III	1...10	0...100
Ш-I	2...5	250*
ШМ-I	1...5	0...100
ШМ-II	1...10	0...200

\*Высота штатива.

Точность контроля с использованием таких приспособлений зависит от типа применяемых измерительных головок и квалификации рабочего-контролера и может достигать 2...4 мкм.

Отклонение от круглости внутренних цилиндрических поверхностей можно контролировать также пневматическими пробками (ГОСТ 9244–75).

Правильность геометрической формы внутренних конических посадочных поверхностей проверяют калибрами (ГОСТ 2849–94), методами «по краске» и «по риску».

#### **Автоматизированные средства контроля**

Для определения величин как статических, так и динамических (в процессе обработки заготовки) погрешностей и записи результатов измерений на носители информации (самопишущий прибор, принтер, дискета, компакт-диск, просмотр на экране дисплея) разработана установка с использованием в качестве первичного измерительного элемента виброкантактного преобразователя типа ВГД-01 (рис. 17.64) (а. с. № 1229562).

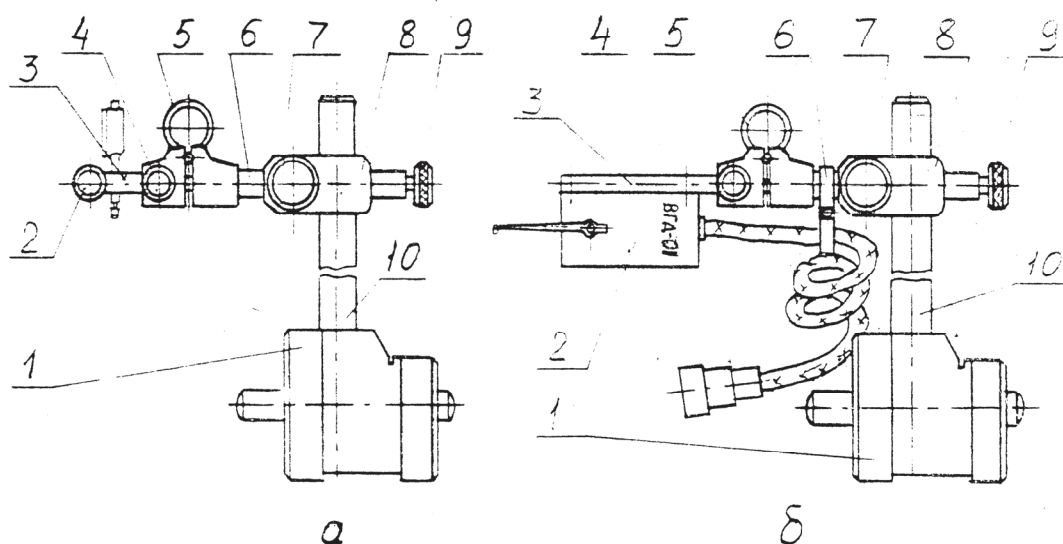


Рис. 17.64. Измерительные устройства визуального наблюдения (а): 1 – основание магнитное; 2 – винт закрепления измерительной головки; 3 – державка; 4 – винт закрепления державки; 5 – кольцо пружинное; 6 – стержень; 7 – винт зажимной; 8 – хомутик; 9 – винт тонкой установки на размер; 10 – колонка;  
и с записью на носитель информации (б): 1 – основание магнитное; 2 – датчик ВГД-01; 3 – пластина; 4 – винт закрепления пластины; 5 – кольцо пружинное; 6 – хомутик; 7 – винт зажимной; 8 – хомутик; 9 – винт тонкой установки на размер; 10 – колонка

Для удобства установки этих приборов в любом месте и в любом приложении в конструкцию приборов введен штатив ШМ-I, ШМ-II (см. табл. 17.3). Если в измерительном устройстве (см. рис. 17.64, а) измерительная головка-индикатор крепится державкой 3 и винтом 2, то в автоматизированном устройстве эти детали заменены пластиной 3 (см. рис. 17.64, б), на которую укреплен виброконтakтный преобразователь. Использование в качестве первичного измерительного элемента датчика позволяет производить измерение различных линейных величин с высокой точностью (до 0,001 мм) и универсальностью не только визуально по показывающему прибору (рис. 17.65) непосредственно в цехе на станке в процессе изготовления детали, но и с записью на любой носитель информации (например, устройство сбора данных USB-6008 системы LabVIEW компании National Instruments Russia, с использованием программного обеспечения сбора данных NJ Data Logger или компактного мультитолеранта SJCOMP PC16-15 фирмы Siemens, Германия).



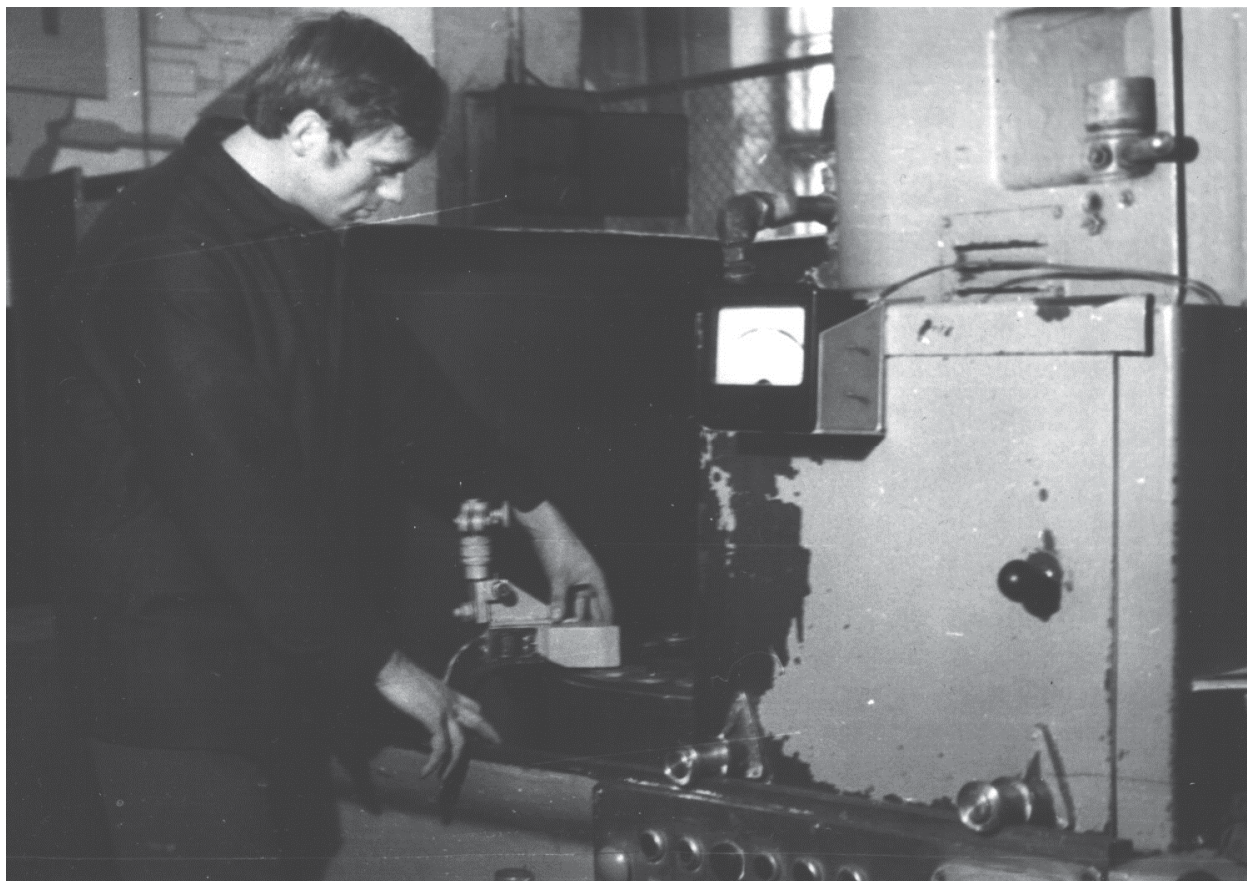


Рис. 17.65. Измерение погрешностей обработки непосредственно на станке в цехе

### 17.5.3. Контроль точности расположения поверхностей

Измерение точности расположения поверхностей – наиболее сложный, трудоемкий и ответственный этап контроля деталей шпиндельных узлов.

Наилучшие результаты, с точки зрения обеспечения точности, достоверности и производительности контроля, даст применение универсальных и специальных координатно-измерительных машин (КИМ). Они позволяют производить комплексную проверку всех показателей точности изготовленной детали.

#### **Универсальные и специальные приспособления**

В условиях единичного производства для контроля отклонений расположения поверхностей могут быть использованы специальные приспособления (рис. 17.66).



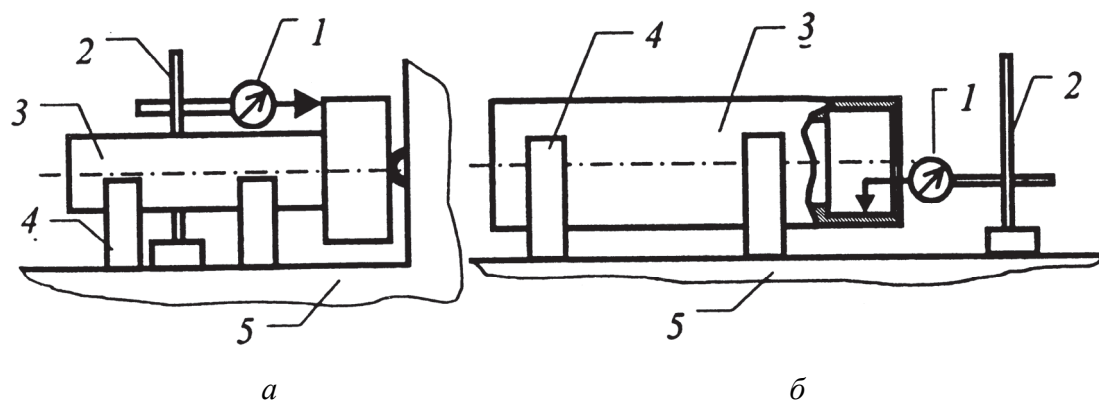


Рис. 17.66. Схемы приспособлений для контроля точности расположения поверхностей

Деталь 3 при контроле базируется на призмах 4 (ТУ2-034-812-88, ТУ2-034-439-88), установленных на проверочной плите 5 (ГОСТ 10905–86), стойка 2 с измерительной головкой 1 подводится к контролируемой поверхности, деталь проворачивается вручную. Обычно для повышения точности и достоверности выполняют до пяти замеров в нескольких разных сечениях.

Точность контроля с использованием таких приспособлений зависит от типа применяемых измерительных головок и квалификации рабочего-контролера и может достигать 2...4 мкм.

### Специальные стенды

В серийном производстве для комплексного контроля точности расположения поверхностей используют специальные стенды (рис. 17.67, 17.68).

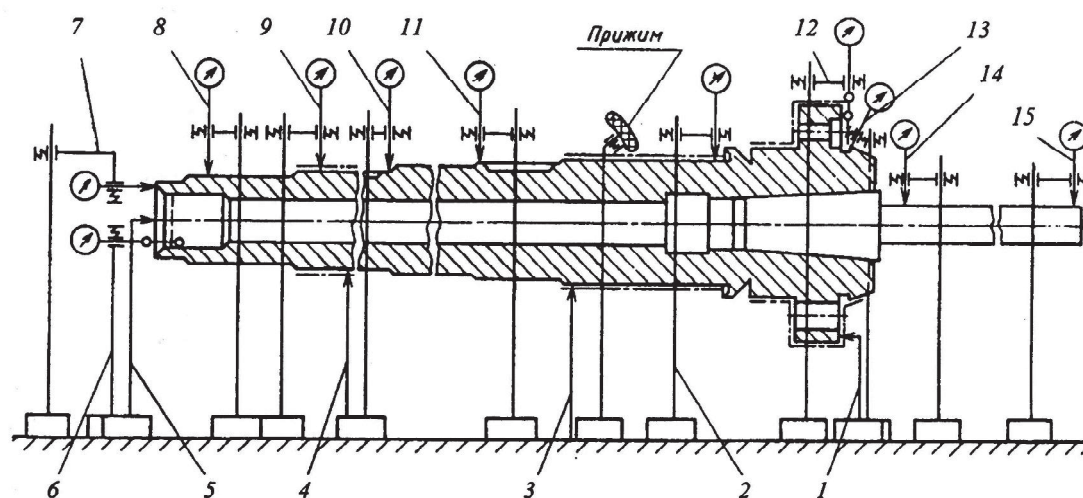


Рис. 17.67. Специальный стенд для контроля точности расположения поверхностей шпинделя: 1, 5 – упоры; 3, 4 – ножевидные призмы; 2, 9 – датчики контроля соосности; 6, 8, 10, 11, 13...15 – датчики контроля радиального биения; 7, 12 – датчики контроля торцевого биения

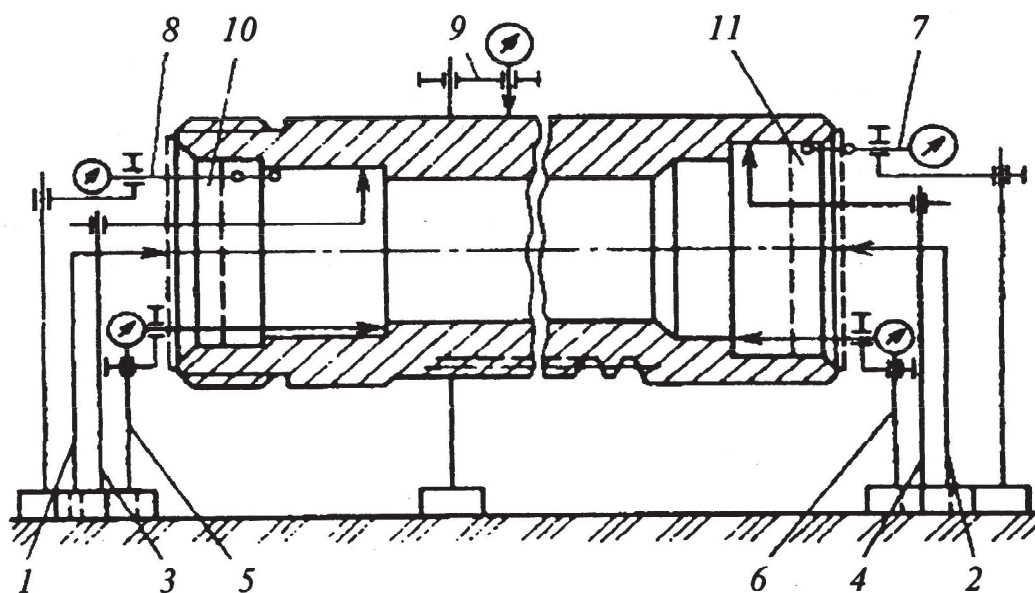


Рис. 17.68. Специальный стенд для контроля точности расположения поверхностей гильзы:  
 1, 2 – центральные упоры; 3, 4 – внутренние призмы; 5, 6 – датчики контроля торцевого биения; 7, 8 – датчики контроля соосности; 9 – датчики контроля радиального биения;  
 10, 11 – заглушки под центральные упоры

Они komponуются из стандартных измерительных головок, стоек, призм. Используются также специальные упоры, заглушки и другие элементы для установки контролируемой детали и самого контроля.

Точность контроля на таких стендах зависит от точности изготовления деталей, точности сборки и настройки стенда, от типа применяемых измерительных головок, квалификации рабочего-контролера и может достигать 2...4 мкм.

### **Координатно-измерительные машины**

Для изделий сложной конфигурации при измерении большого числа параметров различного назначения, особенно для крупногабаритных деталей, используются координатно-измерительные машины (КИМ), которые работают в ручном режиме, с автоматизированной обработкой результатов измерения, а также с полностью автоматизированным процессом обработки, измерения и управления. Наблюдается тенденция интеграции КИМ с технологическим оборудованием, в первую очередь со станками с числовым программным управлением. КИМ развиваются в направлении создания измерительно-

информационных систем с полной или частичной автоматизацией, с математической обработкой результатов измерения при установке детали без её ориентации в пространстве и при измерении в динамическом режиме.

Конструкции и схемы выполнения КИМ весьма разнообразны и предназначены для измерения различных деталей. На рис. 17.69, например, представлена КИМ модели PH-40 швейцарской фирмы MAAG, осуществляющей измерение размерных параметров вала-шестерни.

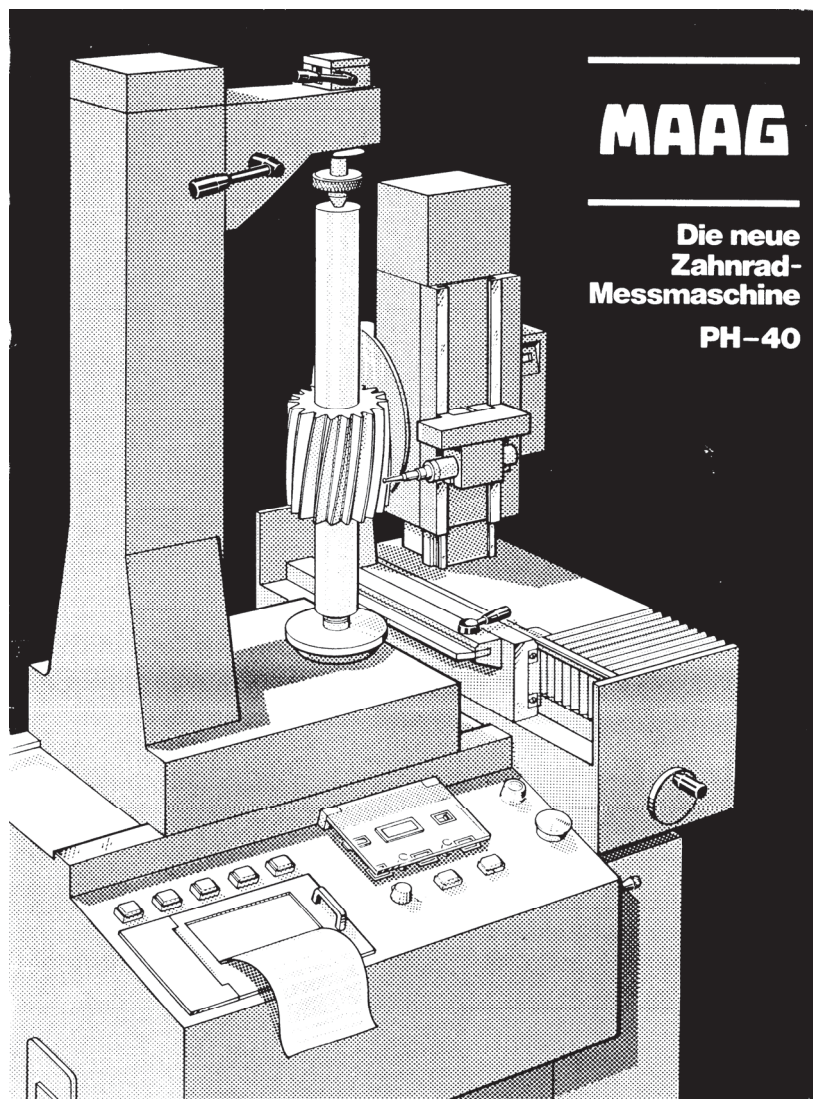


Рис. 17.69. Координатно-измерительная машина PH-40 фирмы MAAG

Большинство КИМ снабжены специальными контактными многоточечными измерительными головками, которые имеют возможность производить измерения во всех направлениях. К головкам прикладывают комплект разнообразных щупов. Например, координатно-измерительная машина VAST компании Carl Zeiss (Германия) имеет сканирующие щуповые системы (рис. 17.70),



которые позволяют измерять линейные размеры, форму и положение поверхностей, сканировать по трем координатам с дискретностью до 0,1 мкм, регулировать измерительные усилия в широком диапазоне значений – 0,05...1 Н.



Измерение по многим точкам для машин среднего класса:

- один сенсор для измерения размера, формы и положения;
- сканирование непосредственно в производственных условиях;
- минимальное время измерения с максимальной информативностью

Рис. 17.70. Сканирующие щуповые системы координатно-измерительной машины VAST

#### 17.5.4. Контроль резьбовых и зубчато-реечных поверхностей

Точность изготовления наружных и внутренних резьбовых поверхностей контролируют калибрами для метрических резьб (ГОСТ 19107–97).

Точность изготовления зубчато-реечных поверхностей целесообразно контролировать с помощью специальных приборов для контроля реек, обеспечивающих высокую точность и производительность. В случае отсутствия указанных приборов возможно использование универсальных измерительных микроскопов УИМ-23, УИМ-24. Точность контроля на измерительных микроскопах не ниже, чем на специальных приборах, однако в производительности выполнения контрольных операций они существенно проигрывают.

### 17.5.5. Контроль шлицевых поверхностей

Точность изготовления шлицевых поверхностей в единичном производстве контролируют с помощью стандартных измерительных средств: штангенциркулей и микрометров, в том числе зубомерных. В серийном производстве применяют комплексные проходные калибры, а для поэлементного контроля используют непроходные калибры. В спорных случаях контроль с применением комплексного калибра является решающим.

Для контроля симметричности шлицев относительно общей оси шеек может быть использовано специальное приспособление (рис. 17.71).

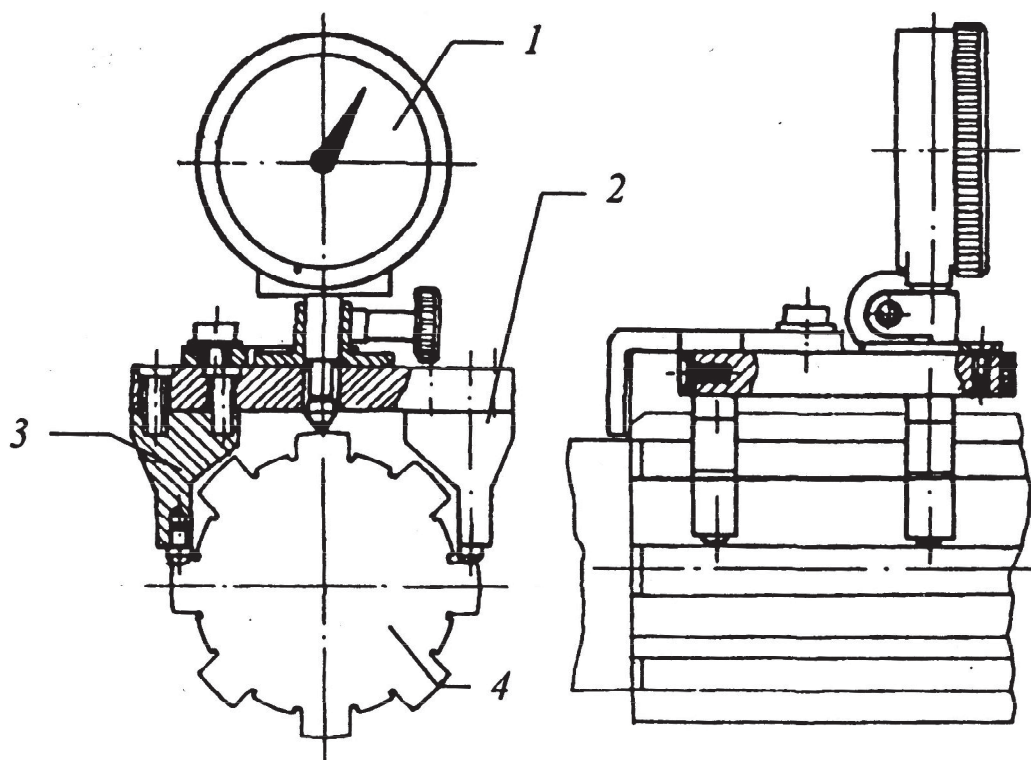


Рис. 17.71. Устройство для контроля симметричности шлицев относительно общей оси шеек

Устройство с измерительной головкой 1 устанавливают на боковые поверхности двух шлицев контролируемой детали 4 с помощью упоров 2 и 3. При этом измерительную головку упирают в поверхность наружного диаметра шлица. Измерительную головку настраивают на нуль. Затем устройство кантуют на  $180^\circ$  таким образом, чтобы измерительная головка упиралась в поверхность

наружного диаметра противоположного шлица. Отклонение от симметричности равно половине разности показаний измерительной головки в двух положениях.

Для контроля разности шагов шлицев может быть использовано специальное приспособление (рис. 17.72).

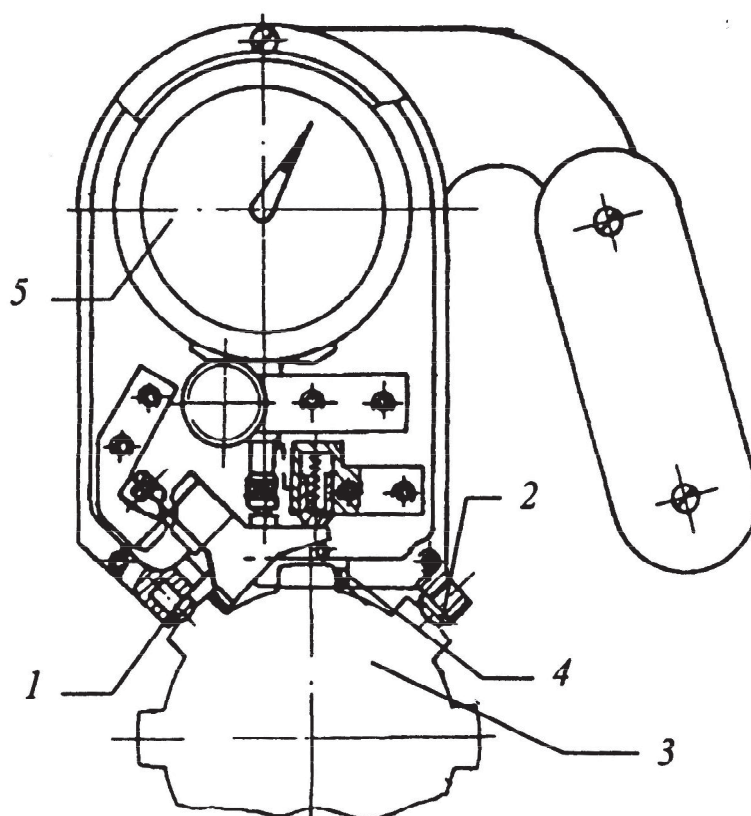


Рис. 17.72. Устройство для контроля разности шагов шлицев

Устройство с помощью опорных пяток 1 и 2 устанавливают на поверхность наружного диаметра контролируемой детали 3, прижимая упор 4 к боковой поверхности шлица. Измерительную головку 5 устанавливают на «ноль».

Последовательно переставляя устройство на следующие шаги, определяют разность шагов шлицев.

При необходимости определяют отклонение шага и накопительную погрешность шага с помощью графического построения.

### 17.5.6. Контроль шпоночных пазов

Контроль ширины шпоночного паза производят универсальными измерительными средствами или специальным пазовым калибром.

Симметричность паза относительно общей плоскости симметрии паза и наружной поверхности контролируют специальным калибром – призмой шпоночной. Измерение производится в трех сечениях паза.

Перекас паза относительно наружной поверхности контролируют с помощью специальных приспособлений (рис. 17.73).

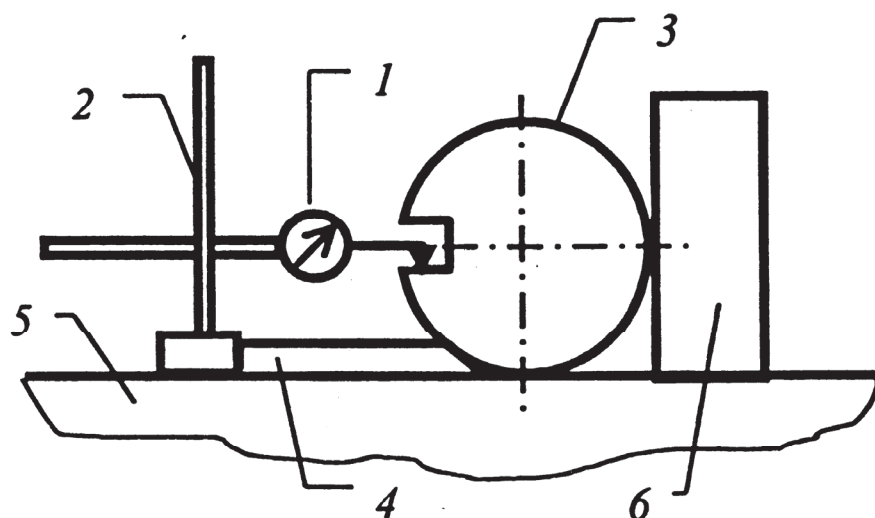


Рис. 17.73. Схема приспособления для контроля перекаса шпоночного паза

Контролируемая деталь 3 устанавливается на плите 5 (ГОСТ 10905–86) с упором в планку 6. Линейка 4 выставляется параллельно базовой поверхности планки и закрепляется. Показания снимаются в крайних сечениях паза по каждой стороне боковой поверхности при установке на «ноль» индикатора 1, закрепленного на стойке 2, в начальном сечении. Перекас паза определяют как полусумму показаний индикатора во втором крайнем сечении.

### 17.5.7. Контроль шероховатости поверхностей

На первых операциях технологического процесса, когда требования к шероховатости поверхности не превышают  $Ra_{3,2} \dots Ra_{1,6}$ , контроль производят визуально-тактильным способом путем сравнения с образцами шероховатости (ГОСТ 9378–93).



Шероховатость поверхности с параметром  $Ra_{0,8}$  и ниже контролируют с помощью профилометра (ГОСТ 19300–86).

Разработанные в последнее десятилетие приборы позволяют значительно уменьшить трудоемкость измерения шероховатости и повысить достоверность результатов. На успешно работающих металлообрабатывающих предприятиях России используется прибор «Сартроник-10» фирмы Rank Taylor Hobson Limited (Англия). Это устройство, работающее на батарейке и удерживаемое в руке (рис. 17.74), может использоваться на любой высоте для измерения текстуры поверхности.

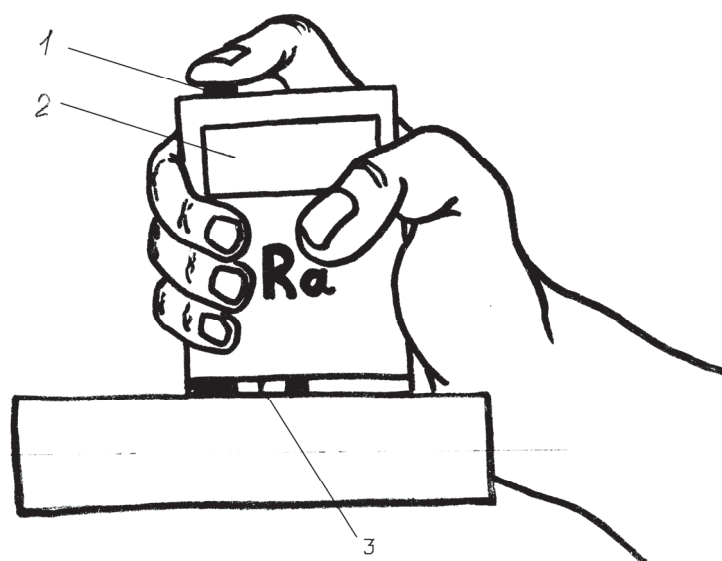


Рис. 17.74. Установка прибора «Сартроник-10Ra» на измеряемую поверхность: 1 – пусковая кнопка; 2 – табло прибора; 3 – мерительный штифт

Одна модель рассчитана на цифровую оценку шероховатости поверхности по параметру  $Ra$ , другая – по  $Rz$ . Размер прибора:  $105 \times 61 \times 17,5$  мм. Масса – 130 г. Измерительный диапазон: 0,1 мкм...40 мкм (1 мкдюйм...1600 мкдюйм). Погрешность – 5 % от счета +0,1 мкм. Максимальная нагрузка мерительного штифта – 10 мН (1 г). Тип датчика – пьезоэлектрический.

Другим успешно применяемым прибором является устройство управляющего контроля ЛАК-14-УПИ (патент № 2270415, разработчик – кафедра «Технология машиностроения» Уральского федерального университета) (рис. 17.75), устанавливаемое на металлообрабатывающем станке и измеряющее параметр  $Ra$ . Имеется световая индикация, если шероховатость выходит за пределы настроенного.

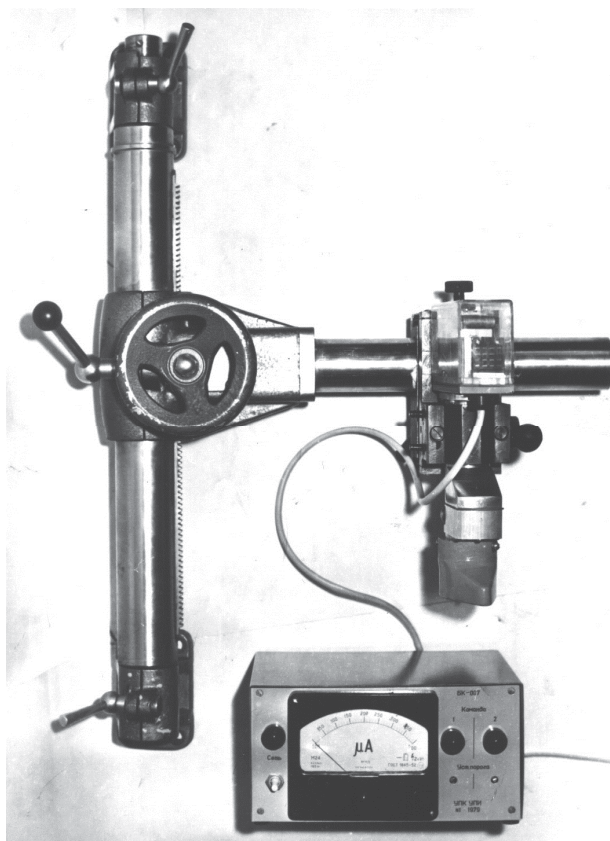


Рис. 17.75. Прибор ЛАК-14-УПИ для измерения шероховатости (параметра  $Ra$ )

#### 17.5.8. Контроль твердости поверхностей

Твердость поверхности прецизионных деталей во избежание их повреждения не может быть проконтролирована непосредственно на этих поверхностях. Для контроля используют специальные образцы-свидетели, которые отрезаются от заготовки в начале технологического процесса. Образцы-свидетели изготавливаются в виде цилиндров диаметром 10...12 мм и длиной 70...100 мм, а также в виде шайб диаметром 25...30 мм и высотой 6...8 мм. В ходе технологического процесса изготовления шпинделя или гильзы образцы-свидетели обрабатываются одновременно с изготавливаемой деталью [18].

Контролируемая поверхность в месте контроля должна быть зачищена шлифовальной шкуркой (ГОСТ 10054–82) последовательно в два приема: сначала шкуркой с абразивным зерном из карбида кремния зеленого зернистостью М28, затем – зернистостью М20.

Твердость поверхностей после закалки ТВЧ или цементации при толщине слоя не более 0,4 мм контролируют по Роквеллу (ГОСТ 9013–59) на твердометрах типа ТК.

Оценка твердости производится по результатам не менее трех измерений на каждом образце-свидетеле.

Твердость поверхностей после закалки ТВЧ или цементации при толщине слоя не менее 0,4 мм, а также твердость поверхностей после азотирования контролируют по Виккерсу (ГОСТ 2999–75) на приборах типа ТП. Допускается использовать приборы типа ПМТ (ГОСТ 9450–76).

#### 17.5.9. Контроль динамической уравновешенности

Контроль динамической уравновешенности выполняют для большинства прецизионных валов. Для этой цели применяют специальные станки или стенды, предназначенные для определения динамической неуравновешенности (дисбаланса) и ее устранения. Величина неуравновешенности определяется измерением амплитуды и фазы колебаний опор.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Способы получения заготовок прецизионных валов.
2. Технологические базы при изготовлении валов.
3. Обработка торцов и торцевых отверстий.
4. Обработка наружных поверхностей валов.
5. Обработка внутренних поверхностей валов.
6. Обработка шлицевых поверхностей.
7. Обработка шпоночных пазов.
8. Обработка наружных резьбовых поверхностей.
9. Универсальные средства контроля валов.
10. Управляющий контроль валов.
11. Контроль точности формы.
12. Контроль точности расположения поверхностей.
13. Преимущества и недостатки координатно-измерительных машин.
14. Контроль шероховатости поверхности.

## ПЕРЕЧЕНЬ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

1. Маталин А. А. Технология машиностроения: учебник. – М. : Лань, 2010. – 512 с.
2. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: учебник для студентов вузов по специальности «Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций»/ С. Г. Силенок [и др.]. – М. : Машиностроение, 1990. – 416 с.
3. Тимирязев В. А. Основы технологии машиностроительного производства: учебник. – М. : Лань, 2012. – 448 с.
4. Галкин М. Г, Ашихмин В. Н. ехнология механической обработки тел вращения: учебно- методическое пособие. – 2-е изд., испр. и доп. Екатеринбург : УрФУ, 2010. – 187 с.
5. Разработка технологического процесса механической обработки деталей и сборки узлов: методические указания / сост. Г. М. Тромпет. – Екатеринбург : УрФУ, 2013. – 16 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. М. Дальского, Л. Г. Косиловый, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение –1, 2001. – Т.1. – 912 с.
7. Богданов В. С., Булгаков С. Б., Ильин А. С. Технологические комплексы и механическое оборудование предприятий строительной индустрии. – СПб. : Проспект Науки, 2010. – 624 с.
8. Свешников А. А. Прикладные методы теории вероятностей: учебник. – М. : Лань, 2012. – 480 с.
9. Тромпет Г. М. Технологические и метрологические возможности систем управляющего контроля: монография. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2009. – 230 с.
10. Суслов А. Г. Технология машиностроения: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2007. – 430 с.
11. Технология машиностроения: в 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов/ В. М. Бурцев [и др.]; под ред. А. М. Дальского. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. – 564 с.
12. Тромпет Г. М. Технология машиностроения: учебное пособие. – Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2007. – 96 с.
13. Солоненко В. Г., Рыжкин А. А. Резание металлов и режущие инструменты : учебное пособие. М. : ИНФРА – М, 2011. – 416 с.
14. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения: учебник для машиностроительных специальностей вузов / И. М. Баранчукова [и др.]; под ред. Ю. М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 1999. – 416 с.

15. Соболев М. П., Этингhoff М. И. Автоматический размерный контроль на металлорежущих станках. – Смоленск : Ойкумена, 2005. – 300 с.
16. Тромпет Г. М. Приборы для контроля деталей // Машиностроитель. – 2003. – № 3. – С. 19–20.
17. Тромпет Г. М. Методы расчета условий эксплуатации систем управляющего контроля: монография. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2010. – 226 с.
18. Материаловедение: учебное пособие для вузов / Л. В. Тарасенко, С. А. Пахомова, М. В. Унчикова, С. А. Герасимова ; под ред. Л. В. Тарасенко. – М. : ИНФРА – М, 2012. – 475 с.
19. Колчанов В. И. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для машиностроительных специальностей. – М. : ВЛАДОС, 2010. – 395 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ОБЩИЙ КУРС.....	6
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. МАСШТАБ ПРОИЗВОДСТВА.....	6
1.1. Основные понятия и определения.....	6
1.2. Масштаб производства и его влияние на технологический процесс.....	13
2. ВЫБОР ЗАГОТОВОК. ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ.....	18
2.1. Выбор заготовок.....	18
2.2. Припуски на обработку.....	24
3. БАЗИРОВАНИЕ И БАЗЫ.....	39
3.1. Виды установок деталей на станках.....	39
3.2. Базы и их выбор.....	40
4. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.....	52
4.1. Влияние различных факторов на точность обработки.....	52
4.2. Исследование точности обработки методами математической статистики.....	76
4.3. Способы обеспечения точности обработки.....	86
4.4. Экономическая и достижимая точность обработки. Зависимость себестоимости обработки от точности.....	99
5. КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	101
5.1. Влияние качества поверхностного слоя на эксплуатационные свойства деталей машин.....	101
5.2. Общие понятия и определения.....	104
5.3. Шероховатость поверхности.....	111
5.4. Физико-математические свойства в поверхностных слоях.....	120
5.5. Определение шероховатости и волнистости поверхности.....	126
5.6. Контроль твёрдости поверхностей.....	131
6. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ. (СТАНОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ).....	133
6.1. Назначение и классификация приспособлений.....	133
6.2. Основные элементы и механизмы приспособлений.....	134

6.3. Приспособления для разных станков.....	146
6.4. Проектирование приспособлений.....	150
7. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН И ДЕТАЛЕЙ.....	156
7.1. Производственная технологичность конструкций машин и её основные показатели.....	156
7.2. Оценка производственной технологичности конструкций машин.....	164
8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	169
8.1. Методы построения технологических процессов. Конструктивно- технологическая классификация деталей машин.....	169
8.2. Исходные данные для проектирования технологических процессов механической обработки.....	172
8.3. Проектирование технологических процессов.....	175
8.4. Элементы технического нормирования.....	182
8.5. Документация технологического процесса.....	186
8.6. Техничко- экономическая оценка эффективности технологических процессов.....	190
8.7. Пути повышения производительности механической обработки.....	197
9. ОБРАБОТКА ВАЛОВ (КРУГЛЫЕ СТЕРЖНИ).....	207
9.1. Классификация деталей. Технические требования. Заготовки для валов.....	207
9.2. Обработка валов.....	208
9.3. Обработка шпоночных канавок и резьб.....	217
9.4. Методы отделочной обработки валов.....	219
9.5. Типовые технологии обработки валов.....	225
9.6. Контроль валов.....	228
10. ОБРАБОТКА ВТУЛОК (ПОЛЫХ ЦИЛИНДРОВ) И ДИСКОВ.....	241
10.1. Классификация деталей. Технические требования. Заготовки втулок.....	241
10.2. Технологические процессы обработки втулок.....	242
10.3. Обработка дисков.....	243
10.4. Основные способы обработки отверстий.....	245



10.4.1. Обработка отверстий лейзвинным инструментом.....	246
10.4.2. Обработка отверстий абразивным инструментом.....	262
10.5. Схемы изготовления втулок и дисков.....	271
10.6. Контроль отверстий.....	272
11. ОБРАБОТКА РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	281
11.1. Виды резьб и резьбовой инструмент.....	281
11.2. Нарезание резьбы резцами и гребенками.....	281
11.3. Нарезание многозаходных резьб.....	286
11.4. Нарезание резьбы вращающимися резцами (вихревым методом).....	289
11.5. Нарезание резьбы плашками и самораскрывающимися резьбонарезными головками.....	291
11.6. Фрезерование резьбы.....	292
11.7. Формирование резьб метчиками и чистовые способы обработки резьбовых поверхностей.....	295
11.8. Шлифование резьбы.....	298
11.9. Накатывание резьбы.....	302
11.10. Методы контроля резьбы.....	308
12. ОБРАБОТКА ШЛИЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ.....	313
12.1. Классификация шлицев.....	313
12.2. Обработка шлицевых валов и втулок при центрировании по внутреннему диаметру.....	314
12.3. Обработка шлицевых валов и втулок при центрировании по наружному диаметру.....	317
12.4. Контроль шлицевых деталей.....	318
13. ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС.....	320
13.1. Материалы и заготовки для колес. Технические условия.....	320
13.2. Образование зубьев на цилиндрических колесах.....	321
13.3. Способы чистовой отделки цилиндрических зубчатых колес.....	328
13.4. Нарезание шевронных колес, звездочек и храповых колес.....	331
13.5. Обработка конических зубчатых колес.....	333
13.6. Технологические схемы обработки зубчатых колес.....	337
13.7. Контроль зубчатых колес.....	343

14. ОБРАБОТКА ЧЕРВЯКОВ И ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС.....	350
14.1. Материалы и заготовки для червяков и червячных колес. Технические требования.....	350
14.2. Классификация червяков.....	351
14.3. Нарезание червяков разных типов.....	354
14.4. Нарезание и отделка зубьев червячных колес.....	359
14.5. Технологические схемы обработки червяков и червячных колес.....	363
14.6. Контроль червячных пар.....	367
15. ОБРАБОТКА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ.....	370
15.1. Классификация корпусных деталей. Заготовки. Технические требования.....	370
15.2. Обработка деталей.....	372
15.2.1. Способы базирования.....	372
15.2.2. Обработка плоских поверхностей.....	373
Обработка плоских поверхностей строганием и долблением.....	377
Обработка плоских поверхностей фрезерованием.....	379
Обработка плоских поверхностей протягиванием.....	383
Обработка плоских поверхностей шлифованием.....	386
Отладка плоских поверхностей абразивами и шабрением.....	387
Особенности обработки плоскостей у крупных литых деталей сложной формы.....	390
15.2.3. Обработка отверстий корпусных деталей.....	391
Расточка по разметке.....	392
Расточка с использованием мерных оправок и концевых мер.....	393
Расточка в приспособлениях по кондуктору.....	393
15.3. Схема обработки корпуса характерной детали (корпус редуктора).....	395
15.4. Методы контроля точности обработки.....	398

16. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ МАШИН.....	413
16.1. Исходные данные для проектирования технологических процессов сборки. Классификация соединений деталей.....	413
16.2. Стадии, структура и организация технологических процессов сборки.....	415
16.3. Технологические схемы сборки. Состав работ при проектировании процесса сборки изделия.....	418
СПЕЦИАЛЬНЫЙ КУРС.....	424
17. Изготовление прецизионных валов.....	424
17.1. Основные этапы изготовления прецизионных валов.....	424
17.2. Способы получения заготовок прецизионных валов.....	425
17.3. Технологические базы при изготовлении валов.....	427
17.4. Обработка основных поверхностей.....	430
17.4.1. Обработка торцов и центровых отверстий.....	430
Черновая обработка.....	430
Получистовая, чистовая и отделочная обработка.....	433
17.4.2. Обработка наружных поверхностей.....	437
Черновая и получистовая обработка.....	437
Чистовая обработка.....	441
Отделочная обработка.....	446
17.4.3. Обработка внутренних поверхностей.....	449
Черновая обработка.....	449
Получистовая обработка.....	451
Чистовая обработка.....	452
Отделочная обработка.....	456
17.4.4. Обработка шлицевых поверхностей.....	457
Черновая обработка шлицев.....	457
Чистовая обработка шлицев.....	460
17.4.5. Обработка шпоночных пазов.....	463
17.4.6. Обработка наружных резьбовых поверхностей.....	465
17.4.7. Обработка внецентровых отверстий.....	467
17.5. Контроль прецизионных валов.....	470

17.5.1. Контроль размеров.....	470
Универсальные средства контроля.....	470
Управляющий контроль.....	471
17.5.2. Контроль точности формы.....	481
Универсальные средства контроля.....	481
Автоматизированные средства контроля.....	483
17.5.3. Контроль точности расположения поверхностей.....	485
Универсальные и специальные приспособления.....	485
Специальные стенды.....	486
Координатно-измерительные машины.....	487
17.5.4. Контроль резьбовых и зубчато-реечных поверхностей.....	489
17.5.5. Контроль шлицевых поверхностей.....	490
17.5.6. Контроль шпоночных пазов.....	492
17.5.7. Контроль шероховатости поверхностей.....	492
17.5.8. Контроль твердости поверхностей.....	494
17.5.9. Контроль динамической уравновешенности.....	495
ПЕРЕЧЕНЬ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК.....	496

*Учебное издание*

**Тромпет Герман Михайлович**

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Редактор *Л. Ю. Козяйчева*

Компьютерная верстка *Е. В. Суховой*

Подписано в печать 18.02.2014. Формат 70×100 1/16.

Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 40,64.

Уч.-изд. л. 25,5. Тираж 100 экз. Заказ № 216.

Издательство Уральского университета  
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ  
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5  
Тел.: 8(343)375-48-25, 375-46-85, 374-19-41  
E-mail: [rio@urfu.ru](mailto:rio@urfu.ru)

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ  
620075, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел.: 8(343) 350-56-64, 350-90-13  
Факс: 8(343) 358-93-06  
E-mail: [press-urfu@mail.ru](mailto:press-urfu@mail.ru)

